

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre  
Engenharia de Minas e Geoambiental  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

# **CONDIÇÕES PARA A VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS INERTES EM MACIÇOS CARBONATADOS**

Lisandra Maria Beserra Santana

**Orientador:** Prof. Doutor João dos Santos Baptista (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Coorientadora:** Prof. Mestre Joana Alexandra Silva Duarte (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Arguente:** Prof. Doutor Fernando Pedro Ortega Oliveira Figueiredo (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra)

**Presidente do Júri:** Prof. Doutora. Maria Cristina da Costa Vila (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

---

2019



---

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

**VoIP/SIP:** feup@fe.up.pt

**ISN:** 3599\*654



**Telephone:** +351 22 508 14 00



**Fax:** +351 22 508 14 40



**URL:** <http://www.fe.up.pt>



**Correio Electrónico:** [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

*"Ninguém escapa ao sonho de voar, de ultrapassar os limites do espaço onde nasceu, de ver novos lugares e novas gentes. Mas saber ver em cada coisa, em cada pessoa, aquele algo que a define como especial, um objeto singular, um amigo - é fundamental. Navegar é preciso, reconhecer o valor das coisas e das pessoas, é mais preciso ainda."*

**Antoine de Saint-Exupéry**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus pela oportunidade de realizar esse sonho, por me munir de força de espírito para permanecer forte em meio as dificuldades e me dar alento nos momentos de solidão e desânimo.

Aos meus pais, Antônio Santana e Vilani Beserra por me proporcionarem essa experiência, por acreditarem e investirem em mim e por toda a dedicação e esforço para sempre prover o melhor para as filhas. À minha irmã Luana pelo apoio e em especial à Laís, que para além de minha amada irmã é minha melhor amiga.

Agradeço à minha família que está no Brasil torcendo pelo meu sucesso. E em especial aos meus tios Felipe e Flávia que foram meu pedacinho de casa aqui em Portugal e que sempre tiveram a sua casa aberta para mim. E ao meu primo Bernardo pelo amor e carinho.

Ao meu noivo Adam Jakomulski, que foi sem dúvidas o melhor que me aconteceu nessa nova vida no Porto, o seu amor e companheirismos foram essenciais para que eu me mantivesse firme.

Agradeço a todos os professores e colegas do departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente pela recepção e boa integração. Em especial, à Catarina Mendes e ao Paulo Rocha pela amizade e suporte ao longo do curso.

Agradeço ao meu orientador professor João Baptista pela disponibilidade e compromisso com esse trabalho, bem como pelos conselhos a nível profissional. E à minha coorientadora Joana Duarte, sempre acessível e atenta aos detalhes, muito obrigada pela vossa dedicação.

Por fim, agradeço a Portugal e à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por essa maravilhosa experiência que com certeza mudou minha vida.



## RESUMO<sup>1</sup>

**Introdução** - As pedreiras abandonadas são as evidências visíveis dos impactos negativos da mineração de rocha e a principal causa de degradação ambiental a longo prazo, induzindo a uma falta de confiança na própria indústria extrativa. A gestão de resíduos é um dos principais desafios para o desenvolvimento sustentável, bem como o é a recuperação ambiental de áreas degradadas. A conversão de pedreiras abandonadas em aterros controlados para a eliminação de resíduos inertes apresenta-se como uma alternativa que vem de encontro a necessidade de minimizar esses dois constrangimentos ambientais.

**Objetivos** - Este trabalho pretende apresentar as condições gerais para converter pedreiras abandonadas em aterros para resíduos inertes, de forma que o projeto seja tecnicamente viável, economicamente exequível e ambientalmente responsável.

**Metodologia** – Se aplicou o conceito a uma situação real de uma pedreira abandonada em Portugal. Para tanto, realizou-se a revisão bibliográfica acerca do tema em documentos, obtidos em bancos de dados como SCOPUS, Google Acadêmico e na plataforma RESEARCHGATE. Utilizou-se a ferramenta de cálculo, EXCEL para o dimensionamento e as gráficas, nomeadamente AUTOCAD, REVIT e SKETCHUP para ilustrar a proposta.

**Resultados** - Foram apresentadas as condições conceituais e elaborou-se um manual com as diretrizes de projeto para a execução da proposta. Verificou-se através da aplicação a um caso real que, a nível técnico, a proposta é viável.

**Conclusões** – A conversão de pedreiras abandonadas é uma opção viável a nível técnico e é ambientalmente responsável. É, por isso uma opção para a solução dos problemas relativos à gestão de resíduos inertes e de recuperação de áreas mineiras degradadas.

**Palavras-chave:** Aterro de Inertes, Recuperação Ambiental de Pedreiras, Gestão de Resíduos Inertes.

---

<sup>1</sup> Documento escrito em Português do Brasil

.

## ABSTRACT

**Introduction** - Abandoned quarries are visible evidence of the negative impacts of rock mining and the main cause of long-term environmental degradation, leading to a lack of confidence in the extractive industry itself. Waste management is one of the main challenges for sustainable development, as is the environmental recovery of degraded areas. The conversion of abandoned quarries into controlled landfills for inert waste disposal is an alternative that meets the need to minimize these two environmental constraints.

**Aims** - this paper presents the general conditions for converting abandoned quarries into landfills for inert waste, in order to make the project technically viable, economically practicable and environmentally responsible.

**Methodology** - The concept was applied to a real situation of an abandoned quarry in Portugal. To do so, perform the literature review on the subject in documents, obtained from databases such as SCOPUS, Google Scholar and the platform RESEARCHGATE. The calculation tool EXCEL was used for sizing and graphics, namely AUTOCAD, REVIT and SKETCHUP to illustrate the proposal.

**Conclusions** - Converting abandoned quarries is a technically viable option and is environmentally responsible. It is therefore an option for solving problems relating to inert waste management and recovery of degraded mining areas.

**Keywords:** Inert Landfill, Quarry Environmental Recovery, Inert Waste Management.





## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Objetivos .....	16
1.1.1	Objetivo Geral .....	16
1.1.2	Objetivos Específicos .....	16
1.2	Organização da Dissertação .....	16
2	Materiais e métodos .....	19
3	Fundamentação do trabalho .....	21
3.1	Enquadramento Legal e Normativo .....	21
3.2	Enquadramento Técnico .....	22
3.2.1	Áreas mineiras degradadas .....	23
3.2.2	Aterro .....	23
3.2.3	Centro de Recepção de Resíduos .....	23
3.2.4	Compactação .....	23
3.2.5	Empolamento .....	23
3.2.6	Eliminação .....	24
3.2.7	Lixiviados .....	24
3.2.8	Pedreira .....	24
3.2.9	Pedreiras Abandonadas .....	24
3.2.10	Resíduo .....	24
3.2.11	Resíduos Inertes .....	25
3.2.12	Triagem .....	25
3.3	Bases científicas .....	25
3.3.1	Morfologia Cársica .....	26
3.3.2	Mineração 4.0: a Indústria 4.0 aplicada à Indústria de Mineração .....	26
3.3.3	Gestão de Resíduos .....	28
3.3.4	Recuperação de Áreas Mineiras Degradadas .....	29
3.3.5	A Importância dos Resíduos Inertes para a Recuperação de Áreas Mineiras Degradadas .....	32

3.3.6	Requisitos Normativos e de Projeto para Aterros de Resíduos Inertes em Zonas Cársicas .....	32
4	APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	35
4.1	Modelo Conceptual.....	35
4.1.1	Localização da instalação.....	35
4.1.2	Identificação do estabelecimento.....	36
4.1.3	Levantamento topográfico .....	37
4.1.4	Descrição do local.....	37
4.2	Estabilização dos Taludes e Regularização do Terreno .....	39
4.3	Sistema de Impermeabilização do Aterro .....	39
4.3.1	Sistema de Proteção Ambiental Passiva .....	39
4.3.1	Sistema de Selagem Final .....	40
4.4	Sistemas de Drenagem .....	41
4.4.1	Drenagem de águas pluviais.....	41
4.4.2	Poços de drenagem dos lixiviados.....	42
4.5	Plano de Exploração do Aterro.....	43
4.5.1	Tipos de resíduos a depositar .....	43
4.5.2	Área, volume a ocupar e previsão da quantidade total de resíduos a depositar .....	43
4.6	Equipamentos, Instalações e Infraestruturas de apoio .....	50
4.6.1	Vedação.....	50
4.6.2	Portão .....	50
4.6.3	Vias de circulação.....	51
4.6.1	Instalações de triagem de resíduos inertes .....	51
5	DISCUSSÃO.....	55
5.1	Sobre o desenvolvimento do trabalho .....	55
5.2	Limitações e vieses .....	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	57
7	BIBLIOGRAFIA.....	- 1 -

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Os quatro estágios da Revolução Industrial. Adaptado:(Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013). .....	27
Figura 2 - As mudanças nos cenários de processo de interação humano-máquina. Adaptado: (Kumar and Kumar 2019). .....	27
Figura 3 - A hierarquia do gerenciamento de resíduos. Adaptado: (SOMERSET Country Council 2016). .....	29
Figura 4 - Estádio de Braga concebido pelo Arquiteto Eduardo Souto Moura. Fonte: (Bastos and Silva 2001). .....	31
Figura 5 - Ópera de Arame em Curitiba .....	31
Figura 6 – A falha no aterro de resíduos inertes em Shenzhen na China. ....	34
Figura 7 - Situação atual da pedreira em estudo. ....	35
Figura 8 - Localização da Pedreira <sup>5</sup> .....	36
Figura 9 - Delimitação da área em estudo destacada em vermelho. ....	36
Figura 10 - Seccionamento da corta. ....	37
Figura 11 - Temperaturas e precipitações médias na zona <sup>8</sup> .....	38
Figura 12 - Situação atual da corta. ....	39
Figura 13 - Perfil do aterro com enchimento completo. ....	40
Figura 14 - Esquema da forma do poço no aterro. ....	42
Figura 15 – Corta AA. ....	43
Figura 16 – Regularização da base. ....	45
Figura 17 – Camada de argila natural. ....	45
Figura 18 - Corte AB .....	46
Figura 19 - Corte AA. ....	46
Figura 20 - Corte BB .....	47
Figura 21 - Corte CC .....	47
Figura 22 - Corte DD. ....	48
Figura 23 - Corte EE. ....	48
Figura 24 - Corte FF. ....	49
Figura 25 - Corte GG. ....	49
Figura 26 - Corte HH. ....	49

Figura 27 - Vedação da zona da pedreira. ....	50
Figura 28 – Entrada da Pedreira. ....	50
Figura 29 - Vias de circulação internas existentes na pedreira – sinalizadas a vermelho.....	51
Figura 30 - Vista Frontal do Centro de Triagem .....	52
Figura 31 - Vista Traseira do Centro de Triagem. ....	52
Figura 32 - Zona de armazenagem de resíduos - vista 1.....	53
Figura 33 - Zona de armazenagem de resíduos - vista 2.....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de resíduos admissíveis em aterros inertes. Fonte: Decreto-Lei n.º 183/2009. .	25
Tabela 2 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos. ....	41
Tabela 3 - Volume de enrocamento para o nivelamento da base da corta. ....	44
Tabela 4 – Previsão do volume total de resíduos. ....	44



## **GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS/...**

CPS - Sistemas Cyber-Físicos

EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro

PARP - Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística

PL - Plano de Lavra

PP - Plano de Pedreira

RCD - Resíduos de Construção e Demolição





## 1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento econômico experimentado pelas nações emergentes, aliado às suas elevadas densidades populacionais, deram espaço a ambiciosos programas de construção, que criaram uma demanda considerável de curto e médio prazo por recursos minerais, resultando em severos danos ao meio ambiente, vegetação e paisagem (El-Fadel, Sadek, and Chahine 2001; Yang et al. 2017).

A resolução dos problemas ambientais decorrentes da extração mineral é um desafio em escala global, não se restringindo apenas às nações em desenvolvimento. No entanto, nesses países essa problemática é crescente. Já nos países desenvolvidos, essa é a herança das explorações realizadas no passado em que os imperativos econômicos se sobrepujam as práticas ambientalmente responsáveis no âmbito das operações mineiras. Portugal tem grandes responsabilidades ambientais, com um enorme passivo, resultante de intensas atividades mineiras em quase todo o seu território, as quais caracterizaram o período que decorre dos meados do século dezanove até a última parte do século vinte. Além da indústria atualmente ativa e da que entrará em atividade no futuro é necessário concentrar também atenção, sobre a herança de locais abandonados e órfãos (EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro 2011).

As pedreiras abandonadas são as evidências visíveis dos impactos negativos da mineração de rocha e a principal causa de degradação ambiental a longo prazo, induzindo a uma falta de confiança na própria indústria extrativa (Stephen et al. 2018). Após o abandono, as pedreiras podem tornar-se locais de deposição de resíduos urbanos, situação mais comum nos países em desenvolvimento. Ou, se transformar em lagoas artificiais, causando riscos à segurança da população e à qualidade das águas subterrâneas (Nwachukwu and Nwachukwu 2016).

As formas de recuperação de pedreiras a céu aberto são diversas, dependendo de vários fatores, como por exemplo, dos materiais disponíveis e particularmente do capital que se pretende investir no empreendimento. Os objetivos principais da recuperação incluem: a estabilização do terreno, a garantia de segurança pública, a melhoria estética e a devolução do espaço para algo considerado, dentro do contexto regional, um propósito útil (Bastos and Silva 2001).

A gestão de resíduos é outra problemática que aflige a proteção e conservação do meio ambiente. O despejo incontrolado de rejeitos causa danos à natureza, como a contaminação do solo e das águas. Presentemente, a principal estratégia de gestão concentra-se na aplicação da política conhecida como 3 R's: reduzir, reutilizar e reciclar. No entanto, a uma parcela dos resíduos esse plano não pode ser aplicado, sendo essa destinada à eliminação, que habitualmente é feita em aterros (Meira 1999).

A implantação de aterros para eliminação de resíduos sólidos urbanos em locais de pedreiras abandonadas apresenta alto risco ambiental associado, o que a torna pouco prática, visto que, para atenuar os riscos à qualidade das águas e dos solos, são necessários investimentos substanciais, sendo economicamente inviável. Os custos de construção, operação e manutenção dos aterros de resíduos inertes são mais baixos que os dos aterros de resíduos sólidos urbanos, portanto o custo da eliminação de resíduos inertes em aterros projetados para esse propósito é menor (Nakayama, Tsuchida, and Shimaoka 2012). A gestão de resíduos é um dos principais desafios para o

desenvolvimento sustentável, bem como o é a recuperação ambiental de áreas degradadas. A conversão de pedreiras abandonadas em aterros controlados para a eliminação de resíduos inertes apresenta-se como uma alternativa que vem de encontro a necessidade de minimizar esses dois constrangimentos ambientais. Entretanto, certamente que essa proposta apresenta limitações, não apenas de ordem política, mas também a nível de projeto (El-Fadel, Sadek, and Chahine 2001). Dessa forma, se faz necessário conhecer sob quais condições converter pedreiras abandonadas em aterros para resíduos inertes será tecnicamente viável, economicamente exequível e ambientalmente responsável. Logo, evidencia-se a relevância do presente trabalho, o qual almeja apresentar as diretrizes técnicas para implementar a conversão de pedreiras abandonadas em aterros para a eliminação de resíduos inertes, através de diversas perspectivas a escala global.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Apresentar as condições para converter pedreiras abandonadas em aterros para resíduos inertes, de forma que o projeto seja tecnicamente viável, economicamente exequível e ambientalmente responsável. Aplicando-se o conceito a uma situação real de uma pedreira abandonada em Portugal.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Introduzir as melhores técnicas para executar a conversão de pedreiras em aterros de resíduos inertes usadas em um panorama global;
- Elaborar um manual técnico com as diretrizes de projeto para o design de conversões de pedreiras abandonadas em aterros de resíduos inertes;
- Aplicar a proposta de projeto a uma situação real de uma pedreira abandonada em Portugal.

## **1.2 Organização da Dissertação**

**Capítulo 1 - Introdução** – apresenta-se uma perspectiva geral do tema, com as ideias chaves aplicáveis ao âmbito deste estudo. Assim como, a justificativa para a realização deste trabalho e a estrutura da dissertação.

**Capítulo 2 – Objetivos** – exhibe-se o objetivo geral e os objetivos específicos a serem atingidos no desenvolvimento da dissertação.

**Capítulo 3 – Materiais e Métodos** – expõem-se os caminhos adotados e as ferramentas utilizadas para a realização deste trabalho.

**Capítulo 4 – Fundamentação do Trabalho** – faz-se uma abordagem do tema, iniciando-se com o Enquadramento Legal e Normativo onde são apresentadas as principais leis e normas aplicáveis ao âmbito da proposta, seguido de uma seção com o Enquadramento Técnico que contém os principais conceitos a nível técnico e por fim, na seção Referencial Teórico são explanadas as bases científicas que embasam a proposta.

**Capítulo 5 - Apresentação do Caso de Estudo** – apresenta-se a aplicação da proposta a uma situação real de uma pedreira abandonada em Portugal.

**Capítulo 6 - Discussão** – expõem-se as discussões acerca do trabalho desenvolvido, bem como as limitações e viés deste.

**Capítulo 7 – Considerações Finais e Perspectivas Futuras** – exhibe-se as conclusões e perspectivas futuras.

**Capítulo 8 – Bibliografia** – finaliza-se com a apresentação da bibliografia utilizada neste trabalho.



## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho consistiu em várias etapas, a primeira fase correspondeu a revisão bibliográfica. Optou-se por realizar a pesquisa em banco de dados digitais dada a possibilidade de acessar as referências atuais e de diversas partes do mundo. Não houve pesquisas em livros, pois buscava-se pelas técnicas atualmente utilizadas que geralmente estão disponíveis online. Inicialmente, limitou-se a pesquisa ao banco de dados SCOPUS, neste foram encontrados os títulos de alguns artigos e posteriormente foi utilizada a plataforma RESEARCHGATE para obter os artigos completos. Ainda que não usual para esse tipo de trabalho, a plataforma Google Acadêmico se mostrou bastante eficiente para a pesquisa. Nesta foram obtidas dissertações, relatórios e outros documentos acerca do tema. Optou-se por utilizar a ferramenta de gestão de referências Mendeley devido ao seu acesso gratuito e fácil utilização.

Após esta pesquisa inicial, obteve-se pouca informação e, portanto, fez-se um refinamento desta, a partir da limitação de tópicos-chaves a serem abordados na dissertação, nomeadamente:

- Projetos de aterro de inertes;
- Indústria 4.0.;
- Gestão de resíduos;
- Zonas cársticas;
- Águas subterrâneas;
- Legislação.

A delimitação de tópicos a serem abordados mostrou-se adequada, ainda que fosse possível definir outros tópicos de forma a limitar mais a abordagem de cada tema. A pesquisa por cada tópico em separado foi mais eficiente que a abordagem inicial, resultando em um maior volume de informações relativamente ao assunto.

Adotou-se como critério fundamental a obtenção de artigos, relatórios e trabalhos de autores de diferentes regiões do mundo. Pois, este trabalho buscava por uma solução para a gestão de resíduos inertes e de recuperação ambiental de pedreiras que não se restringisse a uma região particular, podendo esta ser aplicada a qualquer situação desde que se considere as particularidades do local. Além disso, a perspectiva ampla daquilo que está sendo feito no mundo mostra-se relevante quando se busca por soluções pouco usuais, como é o caso desta proposta. O manual é apresentado como um documento independente que poderá ser utilizado por estudantes e projetistas para a elaboração de projetos desta natureza.

A identificação das condições e melhores práticas para a execução da proposta foi definida com base na legislação Europeia. Optou-se por esta como critério de referência dada a maior abrangência de aplicação e a disponibilidade de informação de acesso público. Portanto, para identificar e categorizar as soluções como adequadas ou não, se verificou o que estava disposto na

legislação portuguesa e comunitária e fez-se a comparação com as diretrizes apresentadas em cada proposta.

A elaboração de um manual se justifica na necessidade de sintetizar a informação recolhida e selecionada, dessa forma facilitando a utilização desse documento posteriormente. A estrutura do manual foi elaborada com base nos requisitos mínimos dispostos no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto e no guia de projeto “*Environmental Permitting Regulations: Inert Waste Guidance*” compilado pela Agência do Meio Ambiente do Reino Unido. Neste documento buscou-se exibir as diretrizes em uma lógica de elaboração de projeto.

A terceira etapa consistiu na aplicação das diretrizes de projeto contidas no manual a uma situação real de uma pedreira em Portugal. Esta fase incidiu em uma prova de conceitos de forma a verificar qual a utilidade real e as limitações do uso do manual na elaboração de projetos deste gênero e assim, foi possível o afinar e ajustar. Durante a fase de aplicação da proposta ao caso real foram utilizadas ferramentas de cálculo, EXCEL para o dimensionamento e gráficos, nomeadamente AUTOCAD, REVIT e SKETCHUP para ilustrar a proposta. Na quarta etapa se realizou uma análise crítica dos resultados obtidos na aplicação. A quinta etapa compreendeu a fase de discorrer sobre as conclusões do trabalho e as perspectivas futuras para a continuação deste trabalho.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO**

#### **3.1 Enquadramento Legal e Normativo**

A natureza política sensível da indústria mineira, motivada por pontos como a soberania nacional, o ambiente, o impacto na comunidade, a dependência do local, tem como consequência o desenvolvimento de sistemas reguladores e fiscais marcadamente distintos para esse setor comparativamente às outras indústrias. Na perspectiva do legislador, um enquadramento legal bem definido é essencial para controlar as atividades da indústria. Na perspectiva industrial, é importante que a regulamentação seja estável, transparente e apropriada às condições do país em termos de prioridades, infraestruturas e capacidades técnicas (Fiúza 2015). Assim, inicia-se a fundamentação teórica deste trabalho com o enquadramento legal e normativo, o qual apresenta as principais leis e normas aplicáveis ao âmbito deste trabalho.

**Lei 54/2015 de 22 de junho**, bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional.

**Decreto-Lei n.º 340/2007 de 12 de outubro**, a adequar o decreto-Lei n.º 270/2001 de 6 de outubro, estabelece o regime jurídico aplicável à atividade e exploração de pedreiras. Relativamente a pesquisa e exploração de massas minerais, introduzindo no procedimento de licenciamento e fiscalização das pedreiras normas que garantissem a adequação das explorações existentes à lei e a necessária ponderação dos valores ambientais.

**Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de julho**, estabelece o regime jurídico da concessão do exercício da atividade de recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas.

**Decreto-lei n.º 544/1999 de 13 de dezembro**, estabelece as regras relativas à construção, exploração e encerramento de aterros de resíduos resultantes da atividade extrativa.

**Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho**, que estabelece a terceira alteração do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro e transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, aplica-se às operações de gestão de resíduos, compreendendo toda e qualquer operação de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como às operações de descontaminação de solos e à monitorização dos locais de deposição após o encerramento das respectivas instalações.

**Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de março**, estabelece o regime das operações de gestão de resíduos de construção e demolição (RCD), compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação.

**Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de agosto**<sup>2</sup>, institui o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, e os requisitos gerais a observar na concepção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, incluindo as características técnicas específicas para cada classe de aterros. Tem por objetivos evitar ou reduzir os efeitos negativos sobre o ambiente da deposição de resíduos em aterro, quer à escala local, em especial a poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e da atmosfera, quer à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana.

**Decreto-Lei n.º 31/2013 de 22 de fevereiro**, procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, que estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais. O Decreto-Lei n.º 10/2010, estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/21/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de março, relativa à gestão dos resíduos das indústrias extrativas.

**NP EN 1997-1/2010 - Euro código 7 – Projeto geotécnico Parte 1: Regras gerais**, destina-se a ser utilizada como base geral para os aspectos geotécnicos do projeto de edifícios e de outras obras de engenharia civil.

### **3.2 Enquadramento Técnico**

Entende-se que se faz necessário proceder a um enquadramento técnico, dada a natureza específica do presente estudo, de forma a apresentar os conceitos, base teórica e aspectos de ordem prática que servirão para fundamentar e interpretar todos os seguintes pontos deste trabalho.

---

<sup>2</sup> **Nota:** embora as obras em que os resíduos inertes são utilizados para reconstrução ou restauro e enchimento ou para fins de construção estejam excluídas do âmbito de aplicação do referido Decreto-Lei, o mesmo aqui é adotado a nível de referência para os requisitos mínimos a serem satisfeitos, visto que ainda não se dispõem de legislação específica dedicada ao tema.

---



### **3.2.1 Áreas mineiras degradadas**

As áreas mineiras degradadas são aquelas que constituem um fator de risco potencial para a saúde humana ou para a preservação do ambiente (Decreto-Lei n.º 198-A/2001).

### **3.2.2 Aterro**

O aterro sanitário oferece uma maneira de descartar resíduos - embora não seja o único. O Aterro é a instalação de eliminação de resíduos através da sua deposição acima ou abaixo da superfície natural, incluindo:

- i. As instalações de eliminação internas, considerando-se como tal os aterros onde o produtor de resíduos efetua a sua própria eliminação de resíduos no local de produção;
- ii. Uma instalação permanente, considerando -se como tal a que tiver uma vida útil superior a um ano, usada para armazenagem temporária.

Os aterros são classificados numa das seguintes classes: aterros para resíduos inertes, aterros para resíduos não perigosos ou aterros para resíduos perigosos (Decreto-Lei n.º 183/2009).

### **3.2.3 Centro de Recepção de Resíduos**

O centro de recepção de resíduos é a instalação onde se procede à armazenagem ou triagem de resíduos inseridos quer em sistemas integrados de gestão de fluxos de resíduos, quer em sistemas de gestão de resíduos urbanos (Decreto-Lei n.º 178/2006).

### **3.2.4 Compactação**

A compactação é um processo mecânico que, através da aplicação repetida e rápida de cargas ou vibração a superfície, conduz a uma diminuição do seu volume e, portanto, a uma diminuição do índice de vazios e a um aumento do peso volúmico seco. Esta redução de volume é resultado, principalmente, da expulsão de ar dos vazios do solo, não ocorrendo significativa alteração do teor em água nem alteração do volume das partículas sólidas durante a compactação (Santos 2008).

### **3.2.5 Empolamento**

O empolamento é o aumento de volume em relação a um estado anterior de maior compactação (Momade Racia and de Lemos Peroni 2017).

### **3.2.6 Eliminação**

A eliminação é a operação que pretende dar um destino adequado aos resíduos. Esta pode ser feita de diversas formas, como por exemplo, através da deposição de resíduos em aterros (Decreto-Lei n.º 178/2006).

### **3.2.7 Lixiviados**

Os lixiviados são compostos pelos fluídos produzidos pelo contato de água com os resíduos em decomposição, sendo que a quantidade de lixiviados é função da quantidade de água que entra no aterro (Viegas 2014).

### **3.2.8 Pedreira**

Uma pedreira é o conjunto formado por qualquer massa mineral objeto de licenciamento, pelas instalações necessárias à sua lavra (exploração), área de extração e zonas de defesa, pelos depósitos de massas minerais extraídas, estéreis e terras removidas e, bem como, pelos seus anexos (Decreto-Lei n.º 340/2007 - Artigo 2, alínea K).

### **3.2.9 Pedreiras Abandonadas**

A fase de abandono de uma pedreira ocorre após o fim da atividade explorativa. As alterações no solo podem ser mínimas ou profundas, dependendo do impacto provocado, podendo ser reversível ou não (Guiomar 2005).

### **3.2.10 Resíduo**

Os resíduos são qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de Resíduos (Decreto-Lei n.º 178/2006).

### 3.2.11 Resíduos Inertes

Os resíduos inertes são aqueles que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não podem ser solúveis nem inflamáveis, nem afetar negativamente outras substâncias com as quais entrem em contato de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana, e cuja lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado são insignificantes e, em especial, não põem em perigo a qualidade das águas superficiais e/ou subterrâneas (Decreto-Lei n.º 183/2009).

A Tabela 1 apresenta a lista de resíduos admissíveis em aterros de resíduos inertes sem que haja a necessidade de proceder a ensaios.

Tabela 1 - Lista de resíduos admissíveis em aterros inertes. Fonte: Decreto-Lei n.º 183/2009.

Cód. LER	Descrição	Restrições	(*) São RCD (resíduos de construção e demolição) selecionados:
10 11 03	Resíduos de materiais fibrosos à base de vidro	Só sem aglutinantes orgânicos	I. Os que tenham baixo teor de outros tipos de materiais (como metais, plástico, solo, matérias orgânicas, madeira, borracha, etc.); II. Cuja origem seja conhecida; III. Que não provenham de construção poluídas com substâncias inorgânicas ou orgânicas perigosas, por exemplo, devido a processos de transformação na construção, poluição do solo, armazenamento ou utilização de pesticidas ou de outras substâncias perigosas, etc., exceto se for tornado claro que a construção demolida não estava significativamente poluída; IV. Que não provenham de construções tratadas, cobertas ou pintadas com materiais que contenham substâncias perigosas em quantidades significativas.
15 01 07	Embalagens de vidro		
17 01 01	Betão	Só RCD selecionados (*)	
17 01 02	Tijolos	Só RCD selecionados (*)	
17 01 03	Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	Só RCD selecionados (*)	
17 01 07	Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	Só RCD selecionados (*)	
17 02 02	Vidro		
17 05 04	Solos e rochas	Excluindo solo superficial e turfa; excluindo solo e rochas de locais contaminados	
19 12 05	Vidro		
20 01 02	Vidro	Só vidro recolhido separadamente	
20 02 02	Terras e pedras	Só de resíduos de jardins e parques excluindo solo superficial e turfa	

### 3.2.12 Triagem

A triagem é o ato de separação de resíduos mediante processos manuais ou mecânicos, sem alteração das suas características, com vista à sua valorização ou a outras operações de gestão (Decreto-Lei n.º 178/2006).

## 3.3 Bases científicas

Nesse segmento são descritas as bases científicas que fundamentam e elucidam a proposta. Essas são apresentadas de forma sucinta e objetiva pretendendo transmitir uma ideia geral que facilite o entendimento da proposta.

### 3.3.1 Morfologia Cársica

As regiões calcárias são, em geral, caracterizadas por aspectos particulares de relevo e circulação hídrica que constituem o modelado cársico, resultado da ação da água enriquecida em CO<sub>2</sub> que dissolve a rocha ao longo das discontinuidades que compartimentam os maciços nas diferentes escalas. A quantidade de rocha que pode ser dissolvida depende de diversas condições, como o seu grau de pureza e composição, espessura e tipos de solos e de fatores climáticos, nomeadamente a temperatura e exurgência (Almeida, 2000; Calçada et al. 2016).

As formas cársicas são muito variadas, como: as lapíás, as dolinas, os sumidouros, as uvalas, os poljes e as ressurgências. As áreas de carste, por sua natureza física específica, sofrem com a ação antrópica, em virtude da ocupação urbana da terra, das atividades agrícolas, da captação de água subterrânea e da mineração, principalmente da extração de calcários para correção da acidez do solo e para a construção civil, mármore. As consequências principais do uso e da ocupação desordenada de áreas cársicas são: as mudanças rápidas nos regimes hidrológicos superficiais e subterrâneos (desaparecimento de fontes, diminuição na vazão dos cursos de água, inundações), impermeabilização do solo, vibrações (indução dos acidentes geotécnicos - subsidências e colapso de solo e rocha) e poluição rápida do aquífero (Vestena, Kobiyama, and Santos 2002).

### 3.3.2 Mineração 4.0: a Indústria 4.0 aplicada à Indústria de Mineração

A indústria 4.0 é uma estratégia que foi moldada pelo governo alemão em 2013, onde todo o processo de produção é incluído em redes baseadas na Internet que transformam fábricas comuns em fábricas inteligentes (Löow, Abrahamsson, e Johansson, 2019). As três primeiras revoluções industriais surgiram como resultado do motor a vapor, da eletricidade e dos meios eletrônicos. Atualmente, a introdução da “Internet das coisas e serviços” (*Internet of Things and Services*) no ambiente de produção está inaugurando uma quarta revolução industrial, a Indústria 4.0. No futuro, as empresas estabelecerão redes globais que incorporarão seus sistemas de maquinário, armazenamento e instalações de produção na forma de sistemas Cyber-Físicos. No ambiente de fabricação, esses sistemas Cyber-Físicos compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, acionando ações e se controlando umas às outras de forma independente. Em essência, a Indústria 4.0 envolverá a integração técnica dos sistemas Cyber-Físicos na fabricação e logística e o uso da internet das Coisas e Serviços nos processos industriais. Isso terá implicações na criação de valor, modelos de negócios, serviços “*downstream*” e organização do trabalho (Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013). A Figura 1 ilustra os quatro estágios da Revolução Industrial em ordem cronológica e com as suas respectivas principais características. A Figura 2 ilustra as mudanças nos cenários de processo de interação humano-máquina da primeira à quarta revolução industrial.

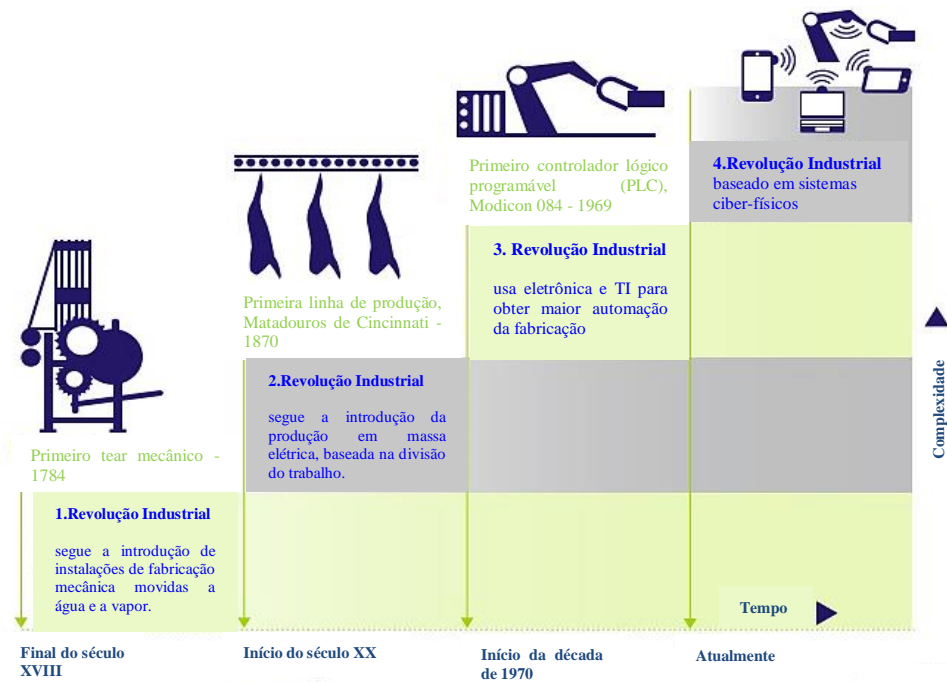


Figura 1 - Os quatro estágios da Revolução Industrial. Adaptado: (Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

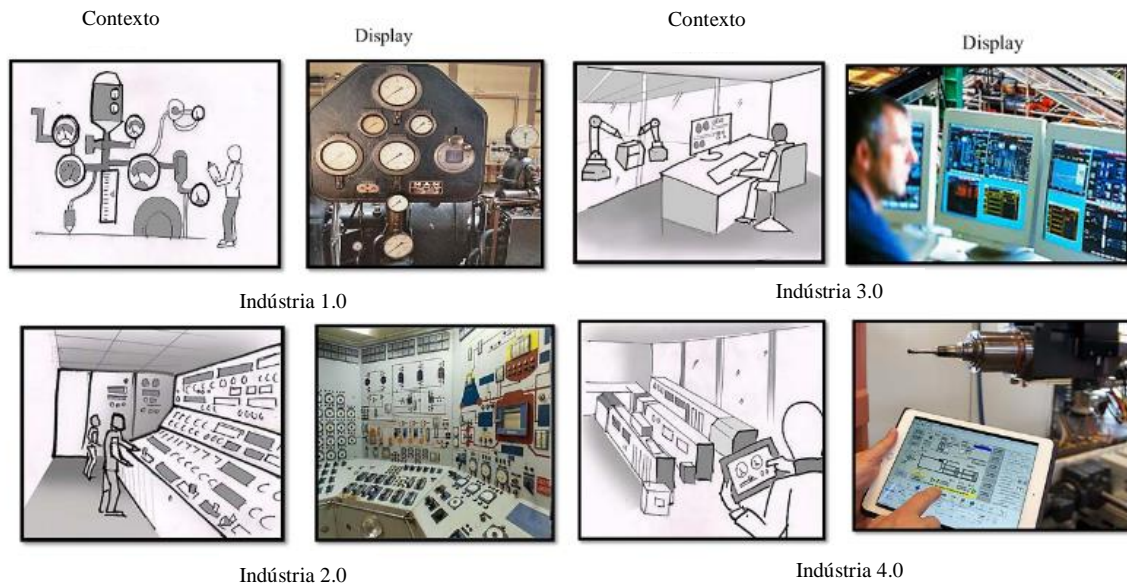


Figura 2 - As mudanças nos cenários de processo de interação humano-máquina. Adaptado: (Kumar and Kumar 2019).

As inovações em tecnologia aliadas à revolução industrial, vêm criando oportunidades de desenvolvimento em quase todos os campos industriais, incluindo o setor de mineração. O recente conceito de Mineração 4.0, que refere-se à aplicação da conceituação da Indústria 4.0 na indústria mineira, visa alcançar o controle da produção ideal através de inovações digitais e tecnológicas (Duarte, Rodrigues, and Santos Baptista 2019).

A Mineração 4.0 não apenas mudará o cenário tecnológico dos locais de trabalho e organizações de mineração, também significa uma transformação de conhecimento. Os sistemas Cyber-Físicos

significam sistemas inteligentes de ventilação, logística, manutenção, máquinas e outros, que trocam continuamente informações com eles mesmos e com trabalhadores humanos (Löow, Abrahamsson, and Johansson 2019).

### 3.3.3 Gestão de Resíduos

A gestão de resíduos é definida como o conjunto das atividades de caráter técnico, administrativo e financeiro necessárias à deposição, recolha, transporte, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos, incluindo o planejamento e a fiscalização dessas operações, bem como a monitorização dos locais de destino, depois de se proceder ao seu encerramento. Essas atividades constituem uma parte integrante do ciclo de vida dos resíduos, sendo da responsabilidade do respectivo produtor. É essencial que estas se processem de forma ambientalmente correta e por agentes devidamente autorizados e registrados para o efeito, estando proibidas a realização de operações de tratamento de resíduos não licenciadas, o abandono de resíduos, a incineração de resíduos no mar e a sua injeção no solo, a queima a céu aberto, bem como a descarga de resíduos em locais não licenciados para realização de tratamento de resíduos<sup>3</sup>.

A indústria da construção é um dos principais setores geradores de resíduos, produzindo enormes quantidades de entulho com uma composição diversificada nos vários estágios da construção. O elevado volume de resíduos de construção, associado à escassez de espaço nos aterros, incentivou pesquisadores e profissionais a pensar em soluções alternativas e sustentáveis, como reutilização e reciclagem (AlZaghrini, Srouf, and Srouf 2019). Apesar dos esforços para diminuir a quantidade de resíduos eliminados em aterros, esses ainda continuam a ser uma opção importante de descarte, havendo a necessidade urgente de gerenciamento adequado e monitoramento cuidadoso para satisfazer questões de segurança ambiental (Yang et al. 2017).

A eliminação definitiva de resíduos, nomeadamente a sua deposição em aterro, constitui a última opção de gestão, justificando-se apenas quando seja técnica ou financeiramente inviável a prevenção, a reutilização, a reciclagem ou outras formas de valorização (Ministério do Ambiente 2006b). A gestão de resíduos inertes, em comum com outras formas de gerenciamento de resíduos, segue a hierarquia de gerenciamento de resíduos. A hierarquia de gerenciamento de resíduos, apresentada na Figura 3, se origina da Diretiva-Quadro Europeia de Resíduos 2008/98/ CE, que define os conceitos e definições básicos relacionados à gestão de resíduos, como definições de resíduos, reciclagem e valorização (SOMERSET Country Council 2016).

---

<sup>3</sup> <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254>. Acesso em: 16/09/2019.

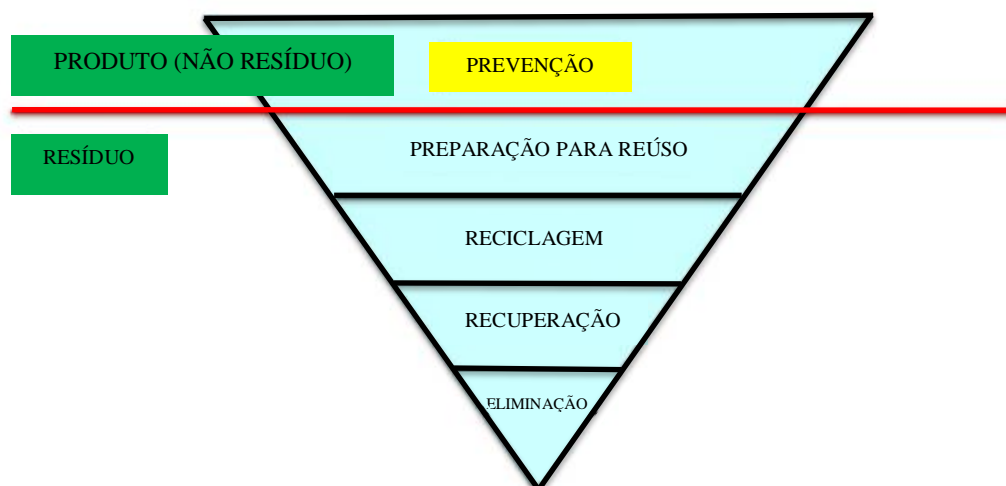


Figura 3 - A hierarquia do gerenciamento de resíduos. Adaptado: (SOMERSET Country Council 2016).

### 3.3.4 Recuperação de Áreas Mineiras Degradadas

A exploração de materiais rochosos, como a extração de calcário, pode causar sérios danos ao meio ambiente perto das áreas de mina. O que faz com que as comunidades e governos prestem maior atenção em relação à proteção de ambientes de mineração, especialmente na recuperação de áreas de exploração a céu aberto abandonados (Wang et al. 2018).

A recuperação das áreas mineiras degradadas compreende, designadamente, a sua caracterização, obras de reabilitação e monitorização ambiental. Esta objetiva a valorização ambiental, cultural e econômica, garantindo a defesa do interesse público e a preservação do património ambiental. Assim como, eliminar os fatores de risco que constituam ameaça para a saúde e a segurança públicas, resultantes da poluição de águas, da contaminação de solos, de resíduos de extração e tratamento e da eventual existência de cavidades desprotegidas (Decreto-Lei n.º 198-A/2001).

Os conceitos para planejamento da recuperação são amplamente variáveis segundo o país onde se localiza o empreendimento. Mas, é consenso que todos os locais perturbados devem ser recuperados tão cedo quanto possível, preferencialmente imediatamente após a sua perturbação durante a própria fase operacional de modo a minimizar a recuperação pós-operacional (Fiúza 2015).

A experiência tem demonstrado que no âmbito da recuperação ambiental, aquilo que é considerado uma perspectiva de exigência de curto prazo ótima e, por muitos, divulgada e defendida, é inimiga do possível, tendo em conta o modo como a própria natureza se comporta e reage quer às agressões quer às ações de remediação concretizadas. Praticamente todas as cortas das minas abandonadas apresentam problemas de segurança sendo, com frequência, locais escolhidos pelas populações para o depósito incontrolado de resíduos orgânicos ou inertes (EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro 2011).

Em Portugal, as instituições regulamentadoras com intuito de promover a recuperação dos locais intervencionados, para que assim não ocorram o abandono incontrolado como foi feito no passado, estabeleceram exigências legais para as ações nas fases desativação, recuperação e abandono. De acordo com o Decreto-Lei nº 340/2007, de 12 de outubro, para a instrução do processo de licenciamento, é necessária a elaboração de um plano de pedreira (PP), que é um documento técnico, composto pelo Plano de Lavra e pelo Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP). O PARP é o documento técnico constituído pelas medidas ambientais e pela proposta de solução para o encerramento e a recuperação paisagística das áreas exploradas. A elaboração desse documento vem de encontro com a necessidade de minimizar os impactos causados pela exploração mineira, visto que a indústria extrativa pode criar passivos ambientais, por estar intimamente interligada com a paisagem, solo, água, fauna e flora (Decreto-Lei n.º 340/2007).

A entidade licenciadora exige ao titular da licença de pesquisa quando pretenda abrir frentes de desmonte ou ao titular da licença de exploração a prestação de caução a favor da entidade que aprova o PARP (CCDR ou ICNF), destinada a garantir o cumprimento das obrigações legais derivadas da licença e relativas ao PARP. As cauções a prestar pelos titulares das licenças, são garantias destinadas a executar a recuperação e revitalização paisagística dos locais onde foram efetuados trabalhos de pesquisa ou exploração de massas minerais, minimizando os efeitos permanentes originados na paisagem. O montante da caução a aplicar no âmbito do processo de licenciamento da exploração será calculado, pela entidade responsável pela aprovação do PARP, mediante a aplicação de uma das fórmulas de cálculo previstas no n.º 5 do artigo 52º da lei de pedreiras e entregue à entidade competente que procedeu à aprovação do PARP (Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG 2016).

Segundo Bastos e Silva (2001), os modelos de recuperação ambiental podem ser agrupados em três tipos principais:

- I. **Restauração:** tem por objetivo devolver o estado original removendo a causa de degradação, ou seja, envolve a restituição mais pura possível ao estado preexistente. A restauração, como objetivo primordial de uma intervenção de recuperação, não só pode ser inviável, como, muitas vezes, completamente desadequada. De fato, a reposição da exata situação existente antes da implantação de uma unidade extrativa só se justifica se existirem meios de restabelecer a morfologia e a qualidade dos solos, bem como, quando a qualidade do meio ambiente original era suficientemente importante para justificar essa opção.
- II. **Reabilitação:** pressupõe uma recuperação das funções e processos naturais dentro do contexto da perturbação, ou seja, assume a afetação produzindo um ecossistema alternativo compatível com a envolvente, cuja recriação se pode aproximar em maior ou menor escala do estado ideal. A plantação de culturas e o plantio de árvores foi o método de reabilitação usualmente preferido (Stephen et al., 2018).
- III. **Reconversão:** visa uma utilização do espaço afetado para outros usos, distintos dos originais, ou seja, substitui o ecossistema nativo, não obrigando, necessariamente, à vegetação das áreas. Um exemplo paradigmático de reconversão em Portugal é o Estádio do Braga exposto na Figura 4, construído no âmbito do Euro 2004. Já no Brasil um exemplo



emblemático é a Ópera de Arame em Curitiba – Paraná, apresentada na Figura 5. Ambas as obras resultam de projetos de recuperação ambiental de ambientes mineiros.



Figura 4 - Estádio de Braga concebido pelo Arquiteto Eduardo Souto Moura. Fonte: (Bastos and Silva 2001).

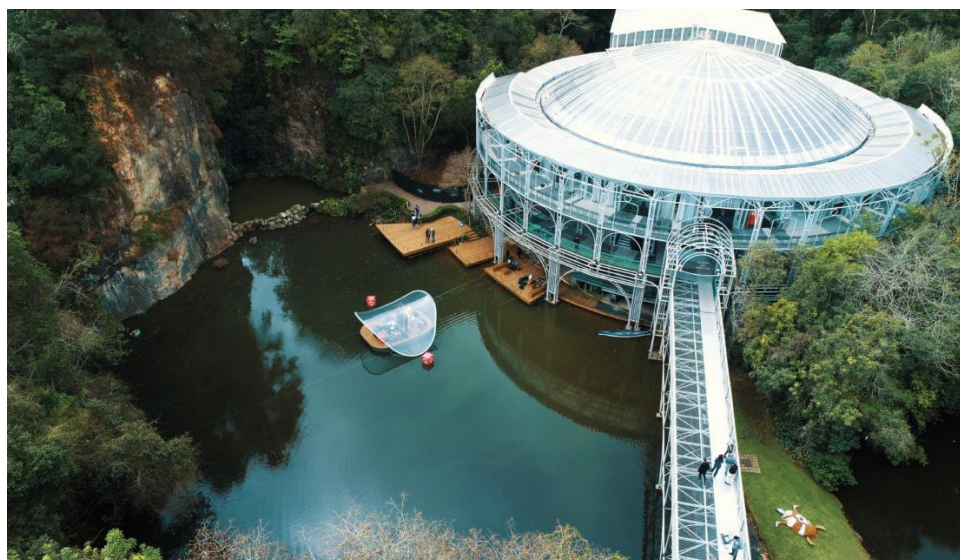


Figura 5 - Ópera de Arame em Curitiba<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup><https://g1.globo.com/pr/parana/natal/2018/noticia/2018/12/18/semana-do-natal-da-opera-de-arame-tem-apresentacoes-em-palco-flutuante.ghtml>. Acesso em: 09/10/2019.

---

### **3.3.5 A Importância dos Resíduos Inertes para a Recuperação de Áreas Mineiras Degradadas**

Os resíduos inertes têm sido amplamente utilizados para a recuperação de trabalhos mineiros. Esse uso tem sido mais comum em explorações de areia e cascalho, geralmente de profundidade rasa e em zonas com lençol freático elevado, como também em alguns locais de rocha dura. Tendo em vista que a recuperação de muitos locais depende do uso de materiais inertes, há muita preocupação por parte das associações de extratores de matéria-prima em relação à permissão dessas atividades, como a operação de aterro, uma vez que esta traz consigo várias restrições, tornando a opção de recuperação usando resíduos inertes mais desafiadora. No entanto, nem todos os esquemas que usam resíduos inertes pretendem devolver o solo aos seus contornos originais. Os esquemas típicos de pós-uso criados incluem: agricultura, áreas de comodidade, instalações recreativas e habitats aprimorados para a conservação da natureza (Quarry Products Association 2006; SOMERSET Country Council 2016).

### **3.3.6 Requisitos Normativos e de Projeto para Aterros de Resíduos Inertes em Zonas Cársicas**

O projeto deve considerar os requisitos legais e normativos vigentes na localidade em que será implantado o aterro. Além disso, os aterros em função da sua respectiva classe estão sujeitos ao cumprimento de requisitos técnicos referentes à localização, ao controlo de emissões e proteção do solo e das águas, à estabilidade, aos equipamentos, às instalações e infraestruturas de apoio e ao encerramento e integração paisagística. Nessa seção são explanados alguns desses critérios, considerados aqui como essenciais, os demais poderão ser encontrados no Apêndice I - Manual de projeto para recuperação ambiental de pedreiras abandonadas em zonas cársicas: conversão em aterros de resíduos inertes.

#### **A Natureza do Terreno**

A composição dos terrenos sobre os quais se realiza o aterro constitui outro fator que deve ser devidamente ponderado antes do início da deposição de resíduos. Os aspectos geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos desempenham um papel importante no sentido de se conhecerem as características do terreno, de forma a garantir que o projeto, a construção e a operação do aterro se efetue com o máximo de economia e segurança (Meira 1999).

A geologia do local irá exercer um papel fundamental na determinação do tipo de aterro a ser implementado. Em maciços rochosos mais permeáveis é, em geral, apenas possível implantar aterros de resíduos inertes. À medida que a permeabilidade diminui, passa a ser viável a deposição de resíduos urbanos e em situações de qualidade extraordinárias de morfologia e estrutura pode-se ponderar a deposição de resíduos industriais banais ou até perigosos (Marques 2018).

### **Requisitos de localização**

Ao planejar a implantação de um aterro o proponente do projeto deve ter atenção à localização da zona em que se pretende executar o aterro devendo consideração fatores como: a distância do perímetro do local relativamente às áreas residenciais e recreativas, cursos de água, massas de água e outras zonas agrícolas e urbanas; a existência na zona de águas subterrâneas ou costeiras, ou de áreas protegidas; as condições geológicas e hidrogeológicas locais e da zona envolvente; os riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terra ou de avalanches na zona, e, a proteção do património natural e cultural da área envolvente. A instalação de um aterro só é autorizada se, face às características do local, no que se refere aos aspectos acima mencionados, e às medidas corretivas a implementar, não acarretar qualquer risco grave para o ambiente e para a saúde pública.

### **Requisitos relativos ao controle de emissões e proteção do solo e das águas**

Em Portugal, os requisitos mínimos relativamente ao controle de emissões e de proteção do solo e das águas para os aterros de inertes são:

- Sistema de proteção ambiental passivo: barreira de segurança passiva;
- Sistema de selagem final: camada de cobertura final com material terroso superior a 1 m;
- Instalações e infraestruturas de apoio: vedação, portão e vias de circulação (Ministério do Ambiente 2009).

### **Requisitos de Estabilidade**

A estabilidade geotécnica dos locais de pedreiras e os riscos aumentados resultantes da conversão destes em aterros projetados, são preocupações reais e, em alguns casos, intransponíveis. Evidentemente, o aterro requer um mínimo de estabilidade no que diz respeito aos materiais de fundação e das “paredes do vale” (El-Fadel, Sadek, and Chahine 2001).

A deposição dos resíduos em aterro deve ser realizada de modo a assegurar a estabilidade da massa de resíduos e das estruturas associadas, nomeadamente no sentido de evitar deslizamentos e/ou derrubamentos. Sempre que é criada uma barreira artificial, deve garantir-se que o substrato geológico, considerando a morfologia do aterro, é suficientemente estável para evitar assentamentos que possam danificar essa barreira (Ministério do Ambiente 2009). Dada a pertinência da estabilidade para o comportamento geotécnico do aterro, esse será tratado em detalhes com o complemento dos requisitos de projetos para as obras de infraestrutura do aterro.

#### *O caso da falha no aterro de resíduos inertes em Shenzhen na China:*

Os projetos de Engenharia sempre devem ser projetados de forma a fornecer o maior grau de segurança, a proteção da vida humana deve sempre se sobrepor aos critérios de caráter económico, porém há muitos maus exemplos em que a segurança operacional foi negligenciada, como no caso da falha no aterro para resíduos inertes em Shenzhen na China. Em 20 de dezembro de 2015 às

11h40, um deslizamento de terra na ausência de fortes chuvas ou terremotos em uma das cidades mais avançadas da China, Shenzhen, deixando 73 pessoas mortas, 17 feridas e 4 desaparecidas e danificou 33 edifícios. Segundo o Ministério de Terras e Recursos da China, o deslizamento de terra foi provocado pelo colapso de uma enorme pilha de resíduos de construção e demolição (RCD). Estima-se que a perda econômica total seja superior a 0,881 bilhão de RMB (equivalente a 0,13 bilhão de dólares). A localização original do aterro era uma pedreira abandonada que estava cercado por cumes montanhosos a leste, oeste e sul. O próprio poço estava voltado para o norte, com a encosta inclinada da pedreira. O leito rochoso era granito intemperizado relativamente impermeável e quando a mineração cessou em 2008, a água começou a se acumular lentamente dentro do poço. Isso ocorreu quando o local foi convertido em aterro de inertes para receber resíduos RCD, principalmente solo, que começou a ser despejado em março de 2014. A falta de drenagem significava que os níveis de água subterrânea aumentavam e o solo despejado absorvia água. Embora uma tubaria e camadas superficiais impermeáveis de drenagem tenham sido instaladas em dois das dez células, elas estão longe de serem suficientes para drenar o escoamento das encostas circundantes. A infiltração de águas superficiais induziu um aumento gradual na pressão da água dos poros que também estava aumentando devido ao carregamento contínuo de resíduos. Eventualmente, esses processos desencadearam o deslizamento de terra (Yang et al. 2017). A Figura 6 mostra a dimensão do deslizamento de terra causado pela falha do aterro em Shenzhen na China.



Figura 6 – A falha no aterro de resíduos inertes em Shenzhen na China<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> <https://www.nytimes.com/2015/12/22/world/asia/china-landslide-shenzhen.html>. Acesso em: 16/09/2019.



## 4 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Nesta seção apresenta-se a aplicação da proposta à situação real de uma pedreira em Portugal. Aqui é feita a prova dos conceitos expostos ao longo deste trabalho e as diretrizes constantes no manual de projeto contido no Apêndice I. A Figura 7 apresenta a situação atual da corta utilizada para explicar a aplicabilidade do manual a uma situação real.



Figura 7 - Situação atual da pedreira em estudo.

### 4.1 Modelo Conceptual

#### 4.1.1 Localização da instalação

A Pedreira situa-se na região central de Portugal, num maciço calcário com elevado grau de carsificação. A Figura 8<sup>6</sup> apresenta a localização aproximada da pedreira, sinalizada a vermelho (X).

---

<sup>6</sup> [https://www.cm-cantanhede.pt/mcsite/Media/upload/2017/20171218142026\\_0602OrdSalvF1Dr.pdf](https://www.cm-cantanhede.pt/mcsite/Media/upload/2017/20171218142026_0602OrdSalvF1Dr.pdf). Acesso em: 28/09/2019

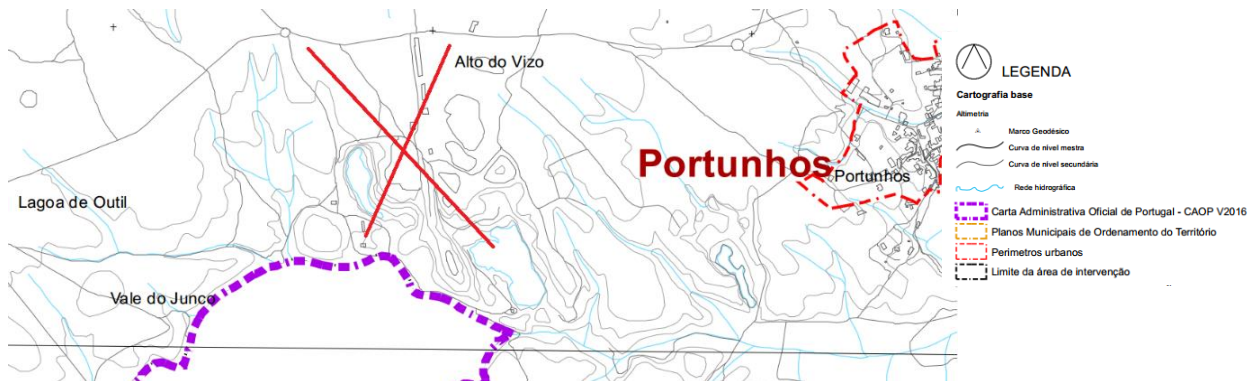


Figura 8 - Localização da Pedreira<sup>5</sup>

#### 4.1.2 Identificação do estabelecimento

A Figura 9 indica a delimitação da zona em estudo. A Figura 10 apresenta o seccionamento da corta.



Figura 9 - Delimitação da área em estudo destacada em vermelho<sup>7</sup>.

<sup>7</sup><https://www.google.com/maps/place/Portunhos/@40.2949378,-8.5662824,1247m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd2254c17a8c3d93:0x500ebbde490a500!8m2!3d40.2968486!4d-8.5441291!5m1!1e4>. Acesso em: 19/09/2019.



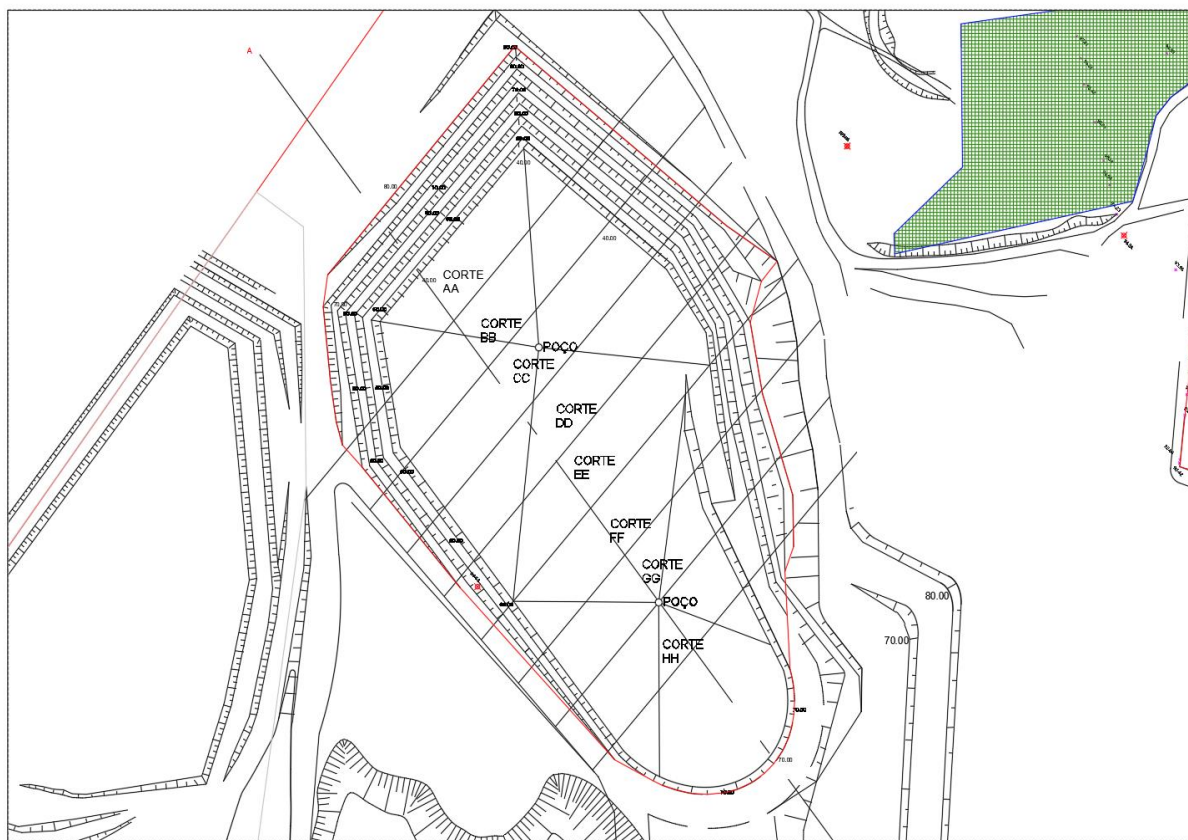


Figura 10 - Seccionamento da corta.

#### 4.1.3 Levantamento topográfico

A planta do levantamento topográfico encontra-se em anexo, está corresponde a modelação resultante da execução parcial do PARP.

#### 4.1.4 Descrição do local

##### Características climáticas

O clima na zona é quente e temperado. O verão tem menos pluviosidade que o inverno, a média anual de pluviosidade é de 956 mm. A temperatura média de 15.6 °C<sup>8</sup>. A Figura 11 apresenta as temperaturas e precipitações médias na zona<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/portunhos/portunhos-882413/#climate-graph>. Acesso em: 23/09/2019.

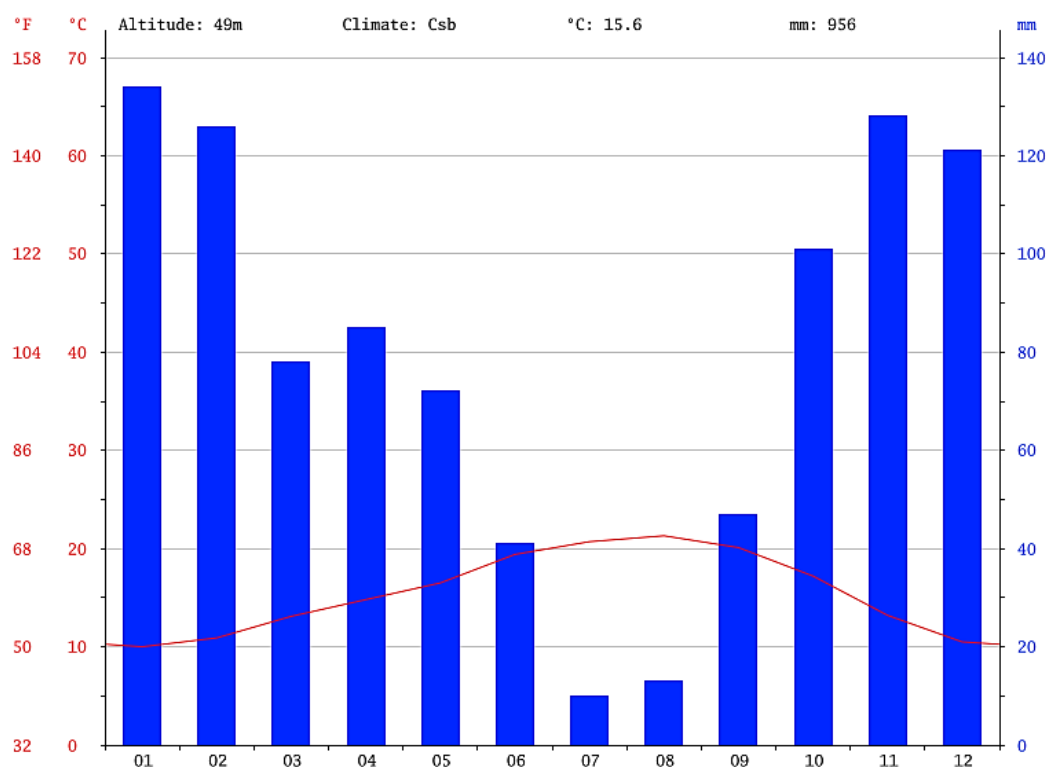


Figura 11 - Temperaturas e precipitações médias na zona<sup>8</sup>.

### Características geológico e hidrogeologia

A pedreira localiza-se na unidade hidrogeológica da Orla Ocidental, bacia hidrográfica de Mondego e sistema aquífero Ançã-Cantanhede. O sistema aquífero Ançã-Cantanhede localiza-se no flanco SE do anticlinal de Cantanhede, estrutura com o eixo orientado NE-SW, e é constituído por formações carbonadas do Jurássico médio que inclinam 10 a 15 ° para SE.

A base do sistema aquífero é constituída pelos Calcários Margosos da Póvoa da Lomba com espessura da ordem da centena de metros (Almeida et al. 2000). A esta formação sobrepõe-se os Calcários de Ançã, com espessura da ordem de duas centenas e meia de metros. O topo do sistema aquífero é constituído pelos Calcários de Andorinha, unidade predominantemente carbonatada, cujos afloramentos são afetados por profundo carso e que desaparecem sob os “Arenitos do Carrascal”.

Os calcários das formações Calcários de Ançã, com espessura de 250±30 m, e Calcários de Andorinha, com espessura de 60 m, são as litologias aquíferas dominantes. Os dobramentos principais são o anticlinal de Cantanhede, estrutura com o eixo orientado NE-SW e o sinclinal de Pena-Tentúgal, estrutura relativamente extensa, orientada também segundo NE-SW e situado a SE do primeiro. As falhas de Pocariça-Ferraria, de orientação NW-SE, sensivelmente normal à dos eixos dos dobramentos antes mencionados, são as principais estruturas fraturantes que afetam o sistema aquífero e cortam o anticlinal de Cantanhede e o sinclinal de Pena-Tentúgal, com aparente



desligamento esquerdo à superfície. O sistema aquífero é de natureza cársica e de produtividade média. Os Calcários de Anã apresentam carsificação relativamente profunda e sem preenchimento. Nos Calcários de Andorinha, a carsificação é evoluída, com preenchimento argiloso das dolinas e dos lapíás. A profundidade máxima conhecida pela pesquisa e captação de água é de 120 metros. A área do sistema aquífero é de 40 km<sup>2</sup>. O nível freático encontra-se aproximadamente a cota 54 m(Almeida et al. 2000).

## **4.2 Estabilização dos Taludes e Regularização do Terreno**

A pesquisa acerca da estabilidade dos taludes será identificada através da investigação de campo, onde será verificada as condições de segurança da superfície livre dos taludes, conforme o disposto no apêndice I. Nos taludes considerados instáveis, proceder-se-á a remoção do material em risco de queda ou deslizamento, sendo o mesmo usado conjuntamente com outros materiais para a regularização da base. A contenção das paredes do poço de extração será feita pela massa de resíduos, à medida que será executado o enchimento. A Figura 12 apresenta o aspecto da corta, nesta fotografia é possível verificar a dimensão dos taludes.



Figura 12 - Situação atual da corta.

## **4.3 Sistema de Impermeabilização do Aterro**

### **4.3.1 Sistema de Proteção Ambiental Passiva**

Dada a natureza do prévio uso do solo faz-se necessário regularizar o terreno, bem como elevar a cota da base das cortas para acima do nível freático (54m+1m), sendo adicionado mais um metro

por razões de segurança. Os tipos de barreiras de base mais utilizados e citados na literatura são as barreiras de argilas naturais, as barreiras de solos argilosos compactados e as barreiras compostas por materiais sintéticos (LEME 2013). Como o aterro destina-se a deposição de resíduos inertes não se justifica o uso de barreiras compostas por materiais sintéticos, dado o seu elevado custo e a dificuldade de instalar esse material em paredes irregulares, situação comum em pedreiras. Assim, a barreira de base do aterro será constituída pela combinação de barreiras de argilas naturais e de solos argilosos compactados que exercerá a função de camada regularizadora da base.

A camada de regularização do terreno será construída por material compactado, predominantemente de solo argiloso. A fração fina do material (inferior a 0,074 mm) possui as funções de impermeabilização e atenuação da infiltração dos contaminantes, a fração granulométrica mais grossa funcionará como barreira física ao rejeito disposto. Esta camada não deverá ter espessura inferior a 1 m, podendo variar para mais consoante ao local, e deverá apresentar condutividade hidráulica menor ou igual a  $(K) \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ . Esta camada que exercerá a função de barreira geológica será complementada e reforçada artificialmente por uma camada de argila natural com uma espessura mínima de 0,5 m e condutividade hidráulica menor ou igual a  $(K) \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$  (Souza 2009; LEME 2013; Decreto-Lei n.º 183/2009).

#### 4.3.1 Sistema de Selagem Final

A selagem final será um sistema composto, constituído pela combinação de uma camada de argila natural com espessura de 0,5 m e condutividade hidráulica menor ou igual a  $(K) \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ , e uma camada de terras vegetais com espessura de maior ou igual a 1,0 m. A execução da selagem será do tipo da configuração tipo apresentada na Figura AI.3 no Apêndice I. A Figura 13 apresenta o perfil do aterro com enchimento completo e selagem final.

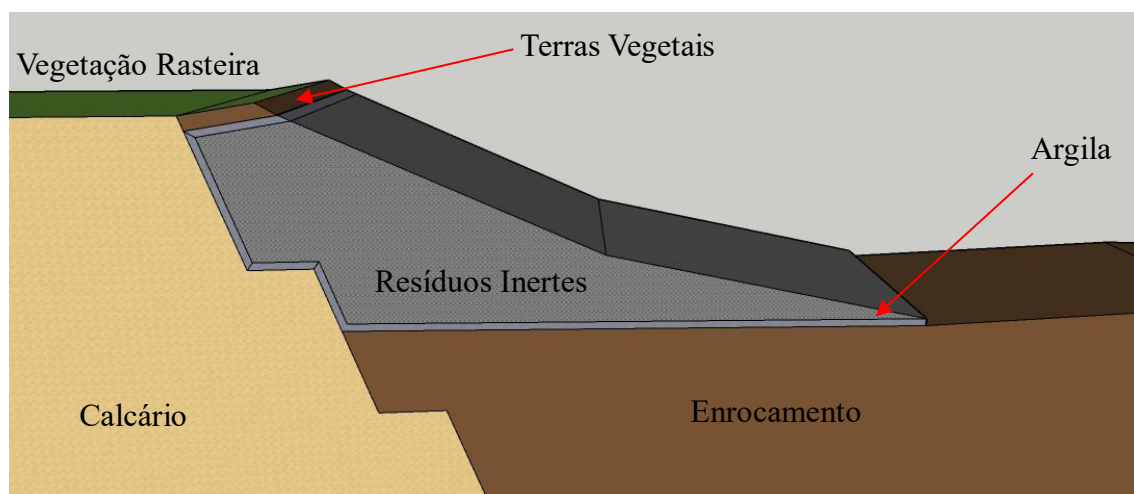


Figura 13 - Perfil do aterro com enchimento completo.

## 4.4 Sistemas de Drenagem

### 4.4.1 Drenagem de águas pluviais

*Determinação da intensidade pluviométrica:*

O tempo de retorno adotado para o dimensionamento do sistema de drenagem do aterro é de  $T=100$  anos. Na base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) obteve-se a Tabela 2 na qual consta a intensidade pluviométrica para o distrito de Coimbra, a duração adotada para os cálculos foi de uma hora, portanto  $i=46$  mm/h.

Tabela 2 - Precipitação para o período de retorno de 100 anos<sup>9</sup>.

Códigos	Posto udográfico	Duração (min)				Duração (h)				Duração (h)		
		5	10	15	30	1	2	3	6	12	24	48
02G/09	Casal Soeiro	23.9	30.5	35.2	44.9	55.7	71.4	82.6	106.0	156.5	222.6	316.8
03J/05	Vila da Ponte											
03Q/01	Bragança											
05T/01	Miranda do Douro	11.7	17.4	22.0	32.8	37.7	42.2	45.0	50.2	64.3	83.1	107.4
06K/07	Vila Real											
03M/01	Chaves	12.7	16.6	19.5	25.6	32.5	36.6	39.2	44.2	53.9	70.6	92.5
06I/01	Amarante											
06P/01	Cerejais											
08P/02	Escalhão											
03E/03	Viana do Castelo	19.3	27.3	33.4	47.2	54.1	62.1	67.4	77.4	100.5	135.9	183.6
07F/01	Porto (Serra do Pilar)											
10F/01	Aveiro (Universidade)	11.9	16.5	20.0	27.6	34.8	42.1	47.0	56.9	75.5	93.7	116.2
10J/01	Viseu											
10H/01	Caramulo	11.6	17.3	21.8	32.4	44.4	61.2	73.8	101.8	155.6	222.7	318.9
11I/01	Sta Comba Dão	16.7	22.0	25.8	34.1	45.7	56.8	64.4	80.0	97.3	122.7	154.7
11L/05	Penhas Douradas	16.6	23.1	28.1	39.1	50.5	63.2	72.1	90.3	126.9	177.3	247.6
12L/03	Covilhã	12.5	17.1	20.4	27.8	35.8	48.5	57.9	78.4	123.3	179.0	259.8
12G/01	Coimbra (IG)**					46.0	59.0	68.3	87.6	103.2	123.1	147.0
13L/02	Gralhas	17.1	24.3	29.9	42.4	50.9	64.4	74.0	93.7	148.1	214.5	310.6
21C/06	Lisboa (IGIDL)	12.7	18.4	22.9	33.3	43.4	55.6	64.2	82.3	91.9	109.1	129.6
21C/02	Lisboa (Portela)	18.8	24.9	29.3	38.7	49.0	64.0	74.8	97.5	116.7	136.7	160.2
20C/01	S. Julião do Tojal	14.5	19.5	23.2	31.3	47.2	67.0	82.3	117.0	135.7	156.2	179.7
22D/01	Setúbal											
16H/01	Barragem de Castelo de Bode											
18M/01	Portalegre	12.5	18.9	24.1	36.4	42.9	51.4	57.1	68.5	89.0	117.2	154.3
20E/01	Barragem de Magos											
20I/01	Pavia	15.0	19.8	23.3	30.8	37.4	48.2	55.9	72.1	92.5	114.1	140.7
22J/02	Évora-Cemitério	14.1	21.3	27.2	41.1	51.0	60.2	66.3	78.2	86.1	101.9	120.6
25J/02	Beja	12.4	18.4	23.1	34.1	40.2	47.1	51.7	60.6	71.4	84.0	98.8
23G/01	Pêgo do Altar											
26D/01	Sines	13.8	18.7	22.4	30.4	38.4	47.0	53.0	64.9	73.0	86.0	101.3
27G/01	Relíquias	15.4	23.6	30.4	46.7	58.1	71.3	80.3	98.5	109.0	124.4	142.0
30J/02	Catraia *					63.9	84.3	99.2	130.9	172.7	227.9	300.7
31J/01	S. Brás de Alportel *					66.8	89.5	106.3	142.4	192.3	243.7	308.8
30M/01	Figueirais *					87.1	115.1	135.5	179.1	238.6	289.0	350.0
31F/01	Praia da Rocha	13.0	17.4	20.7	27.8	35.8	43.6	48.8	59.4	70.9	86.1	104.5
30F/01	Monchique	17.8	26.9	34.2	51.7	78.5	113.8	141.5	205.4	223.7	248.6	276.3
32D/01	Sagres											
31J/02	Faro-Aeroporto	16.2	24.1	30.5	45.5	54.2	67.2	76.1	94.2	115.1	139.5	169.1
30M/02	Vila Real de Sto António	13.6	20.3	25.7	38.5	49.8	61.4	69.3	85.4	100.7	124.1	152.9

*Vazão (caudal) contribuinte:*

- A vazão contribuinte foi calculada pela Equação 1 do apêndice I.
- O coeficiente de escoamento (C) foi obtido no documento “Coeficientes de Escoamento para Portugal Continental”<sup>10</sup>.
- A área da bacia contribuinte depende da topografia, a área considerada aqui para exemplificar o cálculo será a da corta apresentada na Figura 10, visto que as águas das áreas acima a corta serão desviadas não havendo a contribuição dessas áreas.

<sup>9</sup> [https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/relatorios/relatorio\\_prec\\_intensa.pdf](https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/relatorios/relatorio_prec_intensa.pdf). Acesso em: 24/09/2019.

<sup>10</sup> <https://snirh.apambiente.pt/snirh/atlasagua/galeria/mapasweb/pt/aa1029.pdf>. Acesso em: 25/09/2019.

$$Q = \frac{C * i * A}{3600} = \frac{0,40 * 46 \frac{mm}{h} * 20254,54 m^2}{3600} = 103,52 \frac{l}{s}$$

Onde:

- C= 0,40 (a dimensional);
- i= 46 mm/h;
- A= 20254,54 m<sup>2</sup>.

#### *Dimensionamento da canaleta*

O sistema de drenagem será feito por um sistema periférico de canaletas, como a exibida nas Figura AI.5 e Figura AI.6 do Apêndice I, para desvio de águas pluviais para fora da área de intervenção e das frentes de trabalho. O sistema será composto por subcoletores que desviaram as águas das frentes de trabalho, executados com diâmetro de  $\varnothing = 300 \text{ mm}$ , e, por coletores principais que terão a função de captar as águas provenientes dos subcoletores e as direcionar para fora da área do aterro, estes serão executados com  $\varnothing = 500 \text{ mm}$ .

#### **4.4.2 Poços de drenagem dos lixiviados**

A inclinação mínima do fundo do aterro será de 2 % em toda a área. Para área da corta prevê-se dois poços de drenagem de lixiviados do tipo do apresentado na seção 2.5.2. do apêndice I. A Figura 14 ilustra a forma de um dos poços previsto no aterro.

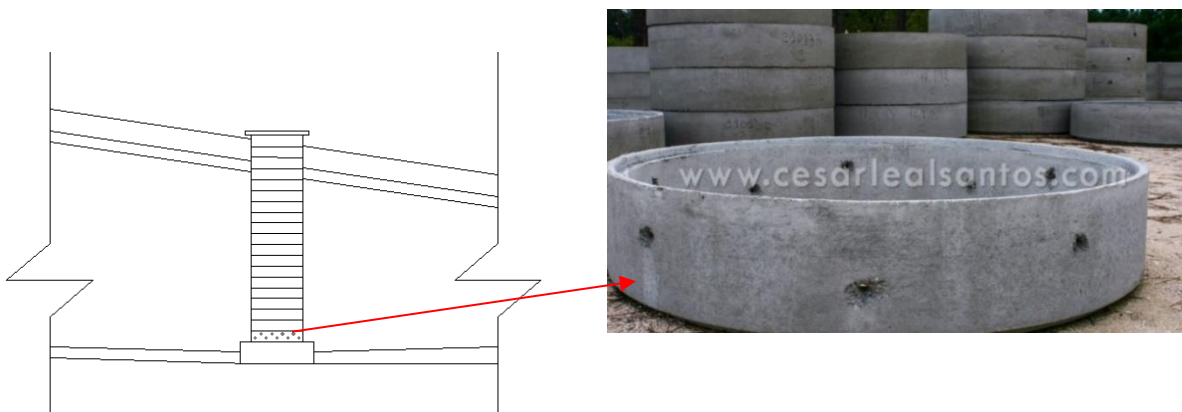


Figura 14 - Esquema da forma do poço no aterro.

## 4.5 Plano de Exploração do Aterro

### 4.5.1 Tipos de resíduos a depositar

Os resíduos aceitos no aterro são os contidos na Tabela 1.

### 4.5.2 Área, volume a ocupar e previsão da quantidade total de resíduos a depositar

O cálculo da área e o volume a ocupar com os resíduos é feito através do levantamento topográfico do local. O projeto de implantação de aterro de inertes para a recuperação ambiental de pedreiras abandonadas difere-se do projeto de um aterro comum. Pois, nestes faz-se a previsão da quantidade de resíduos a depositar com base na geração per capita de resíduos da população no entorno da zona e assim calcula-se a dimensão das células do aterro. Aqui, no entanto, o objetivo é preencher as cortas e, portanto, faz-se a previsão do espaço vazio a ocupar com os resíduos, sendo a quantidade destes resíduos dependem da dimensão das cortas.

Em uma primeira etapa a área foi seccionada, como apresentado na Figura 15, e através da ferramenta medidas → área no AUTOCAD e com o auxílio da ferramenta EXCEL determinou-se a área total da corta. Logo, a área total = 20254,54 m<sup>2</sup>.

A corta foi dividida em estacas de 20 metros e assim foi calculado os volumes de solos para o nivelamento da base e volume de resíduos foram calculados em EXCEL.

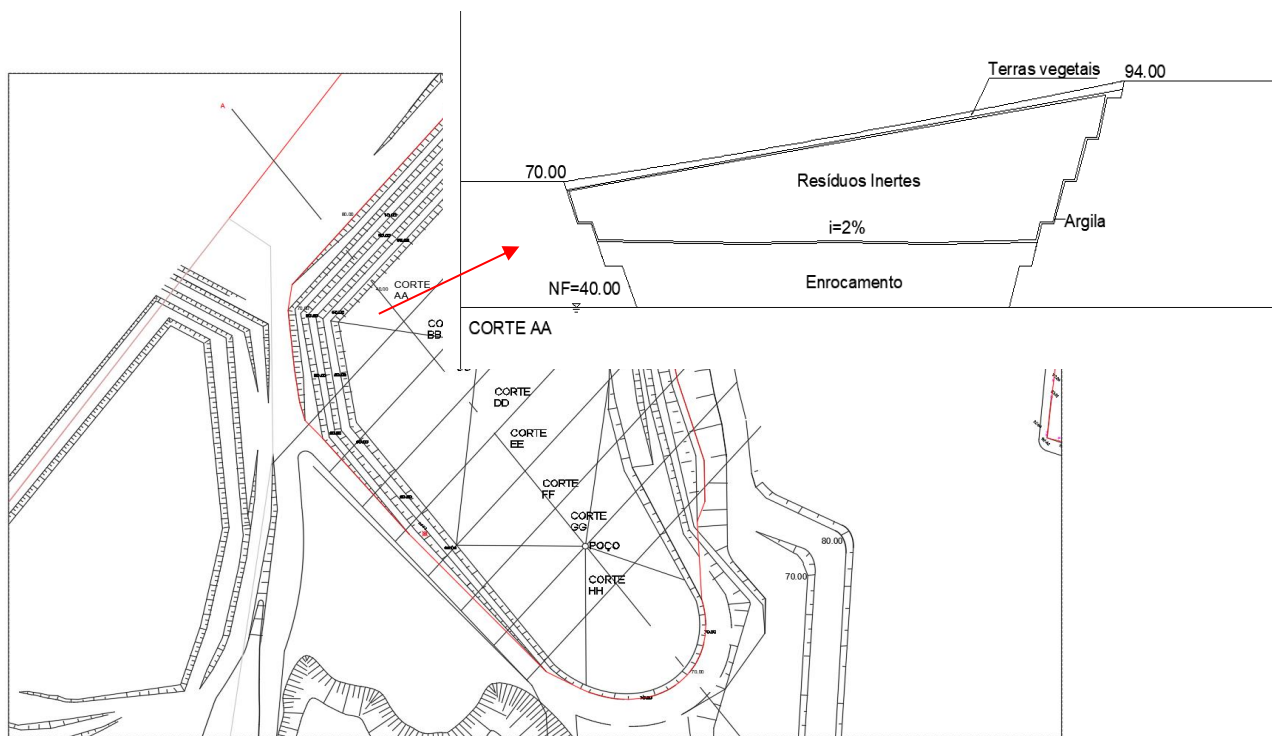


Figura 15 – Corta AA.



Na previsão da quantidade necessária de solo se considerou o fator de empolamento médio de 25%, os valores totais são apresentados na Tabela 3. No cálculo da quantidade de resíduos se considerou o fator de empolamento médio, adotado como sendo 30%, os valores totais estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 3 - Volume de enrocamento para o nivelamento da base da corta.

Corte	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	Vazios (m <sup>3</sup> )	Volume Enrocamento (m <sup>3</sup> )
AA	1504,33	20	30086,61	37608,26
BB	1505,431		30108,61	37635,7625
CC	1650,848		33016,96	41271,1975
DD	1864,199		37283,98	46604,9725
EE	1199,494		23989,87	29987,3425
FF	4704,865		94097,3	117621,63
GG	2144,011		42880,23	53600,285
HH	2035,869	46	93649,97	117062,4675
<b>TOTAL</b>	16609,05		385113,5	481391,9175

Tabela 4 – Previsão do volume total de resíduos.

Corte	Área (m <sup>2</sup> )	Largura (m)	Volume (Vazio)	Fator de Empolamento	Volume Resíduos (m <sup>3</sup> )
AA	2347,843	20	57958,669	0,3	75346,27
BB	1241,349		24826,984		32275,08
CC	1945,169		38903,37		50574,38
DD	2661,882		53237,64		69208,93
EE	4352,241		87044,82		113158,3
FF	3156,353		63127,06		82065,18
GG	943,3173		18866,346		24526,25
HH	1676,862	46	89831,9534		116781,5
<b>TOTAL</b>	18325,02		433796,8424		563935,9

A sequência de enchimento se dará da seguinte forma:

- 1) Proceder-se-á a estabilização dos taludes, o material considerado instável será removido com o auxílio de uma pá mecânica e esse material será usado na regularização da base conjuntamente com materiais de outras zonas, seguindo as especificações apresentadas na seção que trata do sistema de impermeabilização do aterro. Portanto, a primeira fase se constitui na regularização do terreno e elevação da cota da base para 55,0 m;

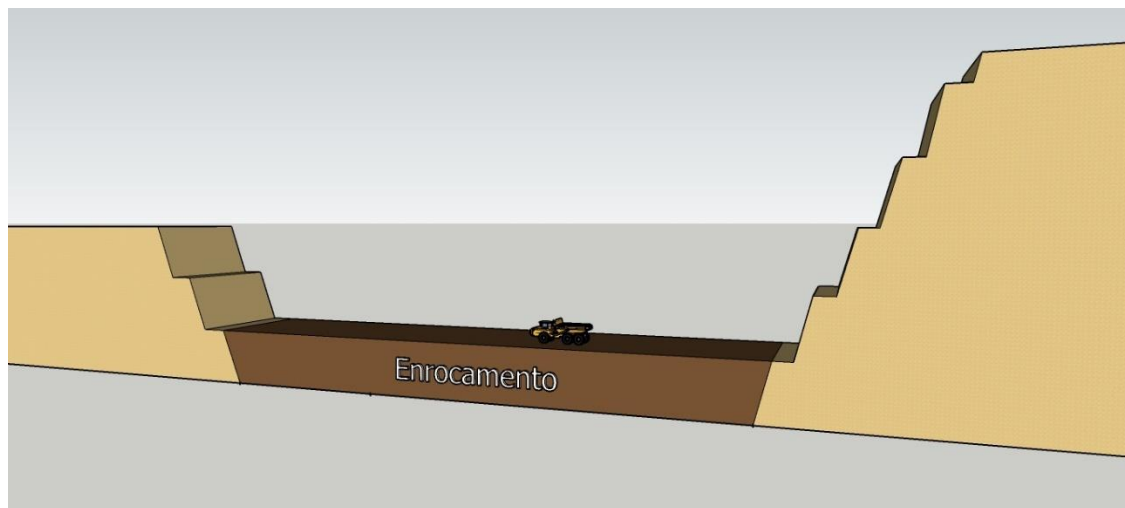


Figura 16 – Regularização da base.

- 2) O enchimento será executado da esquerda para a direita, iniciando no lado esquerdo corte AA;
- 3) A seguir proceder-se-á a impermeabilização da base com a camada de argila natural, conforme o exposto na seção - sistema de proteção ambiental passiva. Essa será feita faseada de acordo com o desenvolvimento do enchimento, nas paredes da corta a impermeabilização será feita de 2 em 2 metros e se desenvolverá consoante ao enchimento;

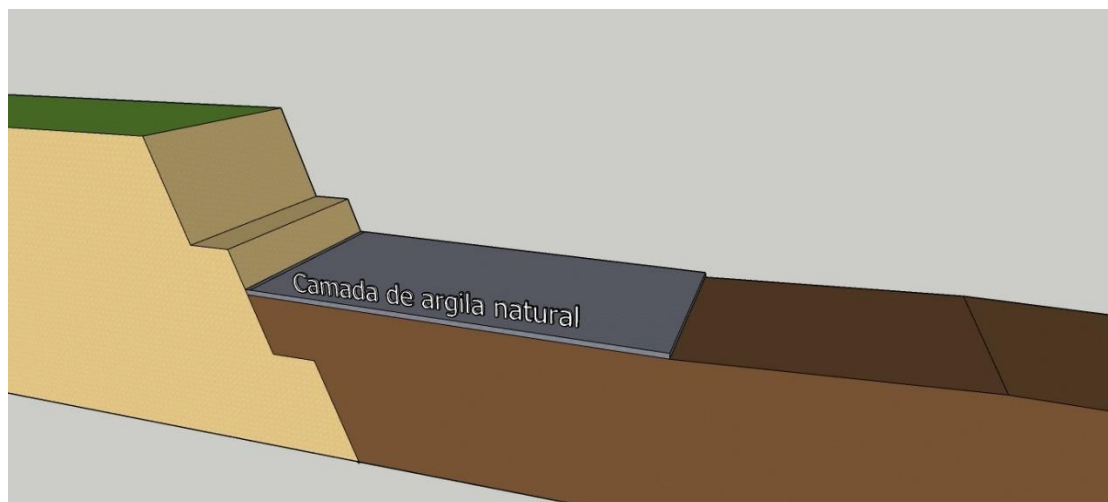


Figura 17 – Camada de argila natural.

- 4) Os resíduos serão depositados diretamente sobre a camada de proteção passiva;
- 5) O enchimento será feito até atingir a cota do talude mais baixo, sendo os resíduos nessa etapa selado, de forma a evitar a formação de lixiviados em excesso. Portanto, o enchimento se dará das cotas mais baixas para as mais altas, conforme o esquema apresentado na Figura 13.

A Figura 18 apresenta o perfil longitudinal do corte AB da área da corta. As Figura 19 a Figura 26 apresentam os perfis transversais dos cortes apresentados na Figura 10. Através destes, fez-se os cálculos dos volumes de enrocamento e resíduos.

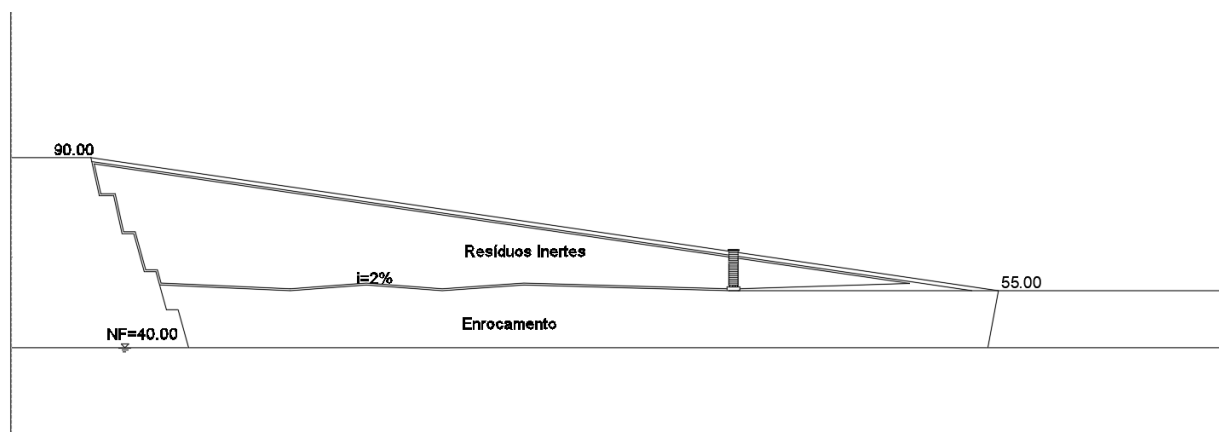


Figura 18 - Corte AB

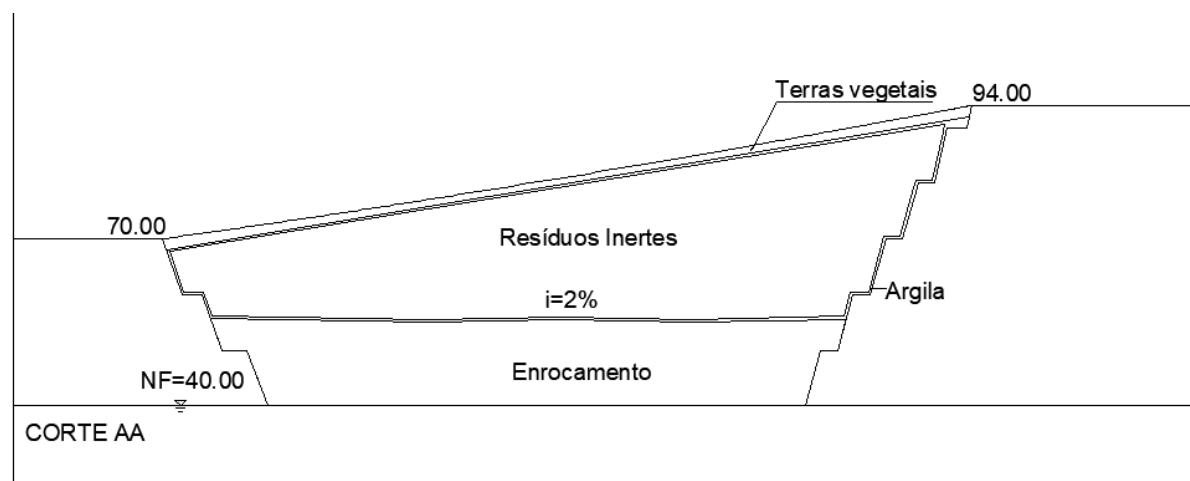


Figura 19 - Corte AA.



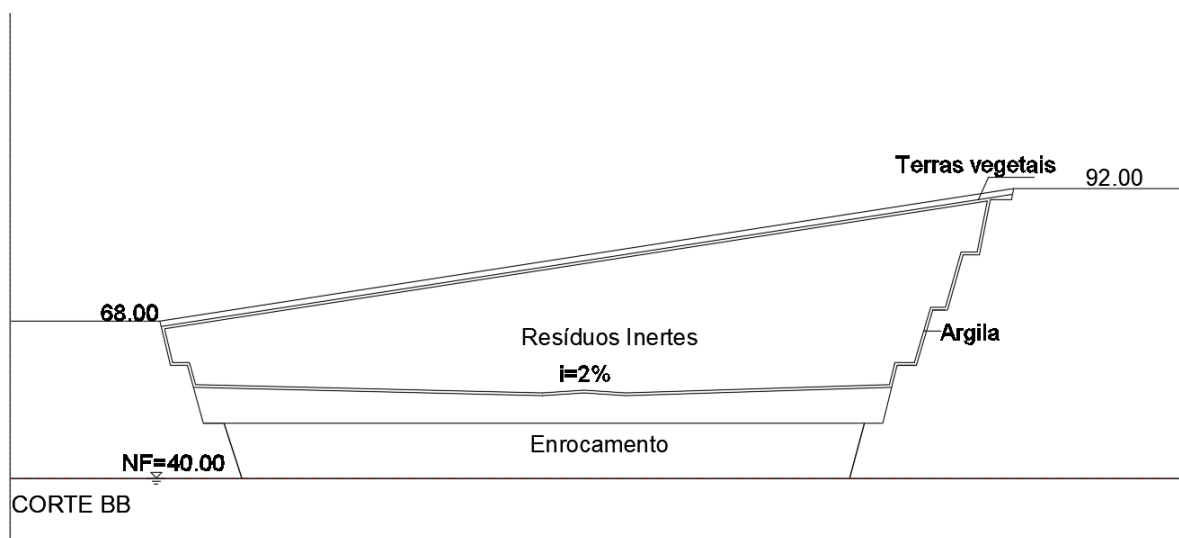


Figura 20 - Corte BB

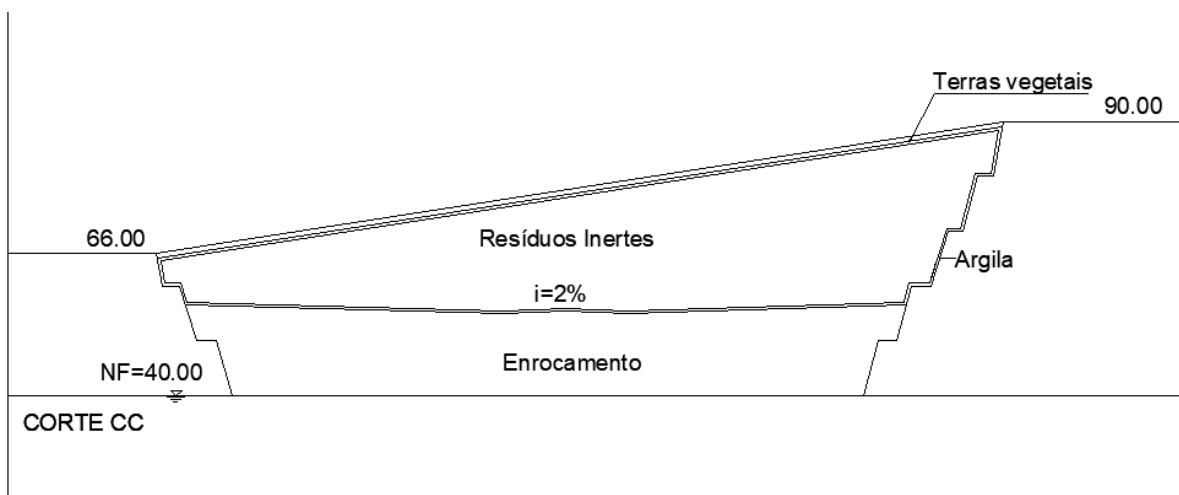


Figura 21 - Corte CC

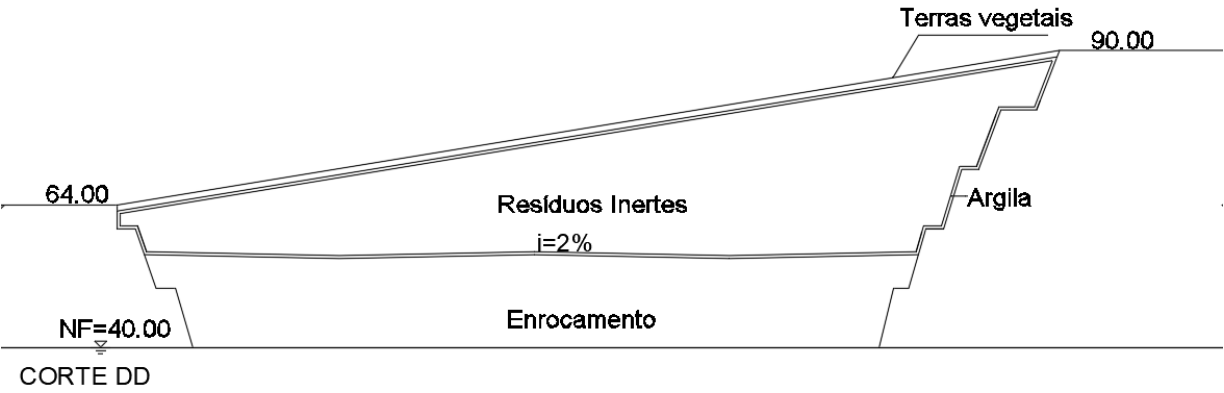


Figura 22 - Corte DD.

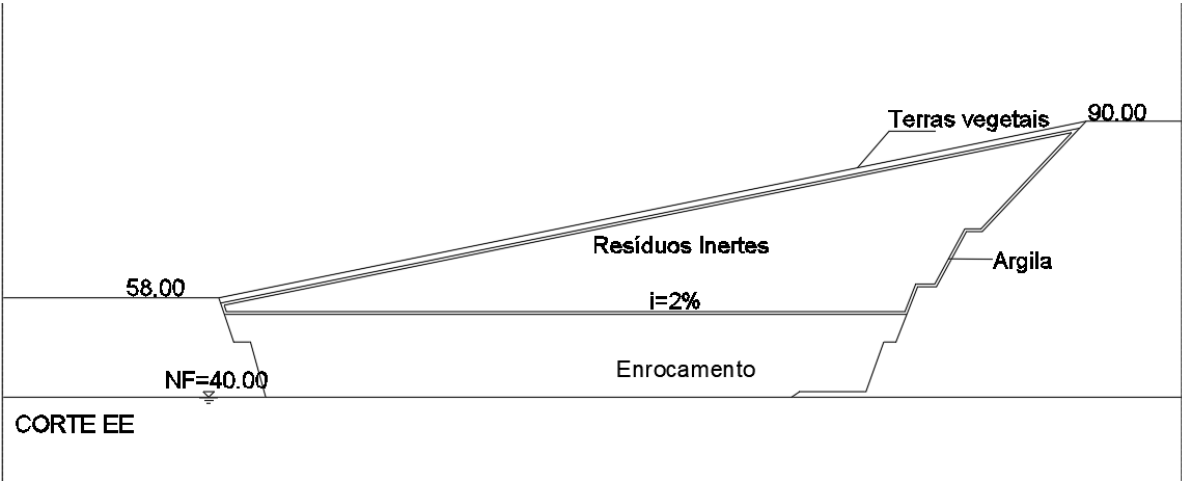


Figura 23 - Corte EE.

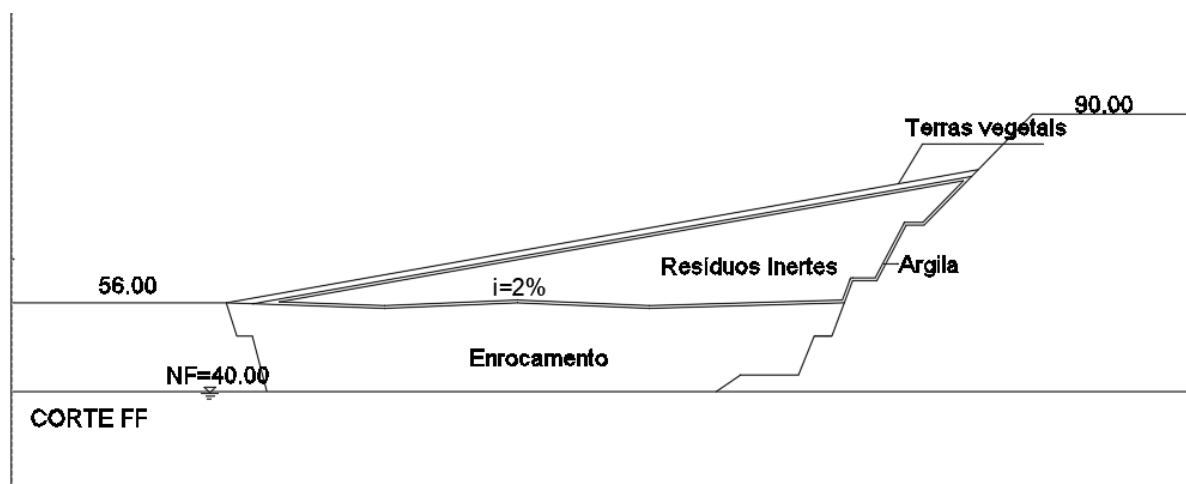


Figura 24 - Corte FF.

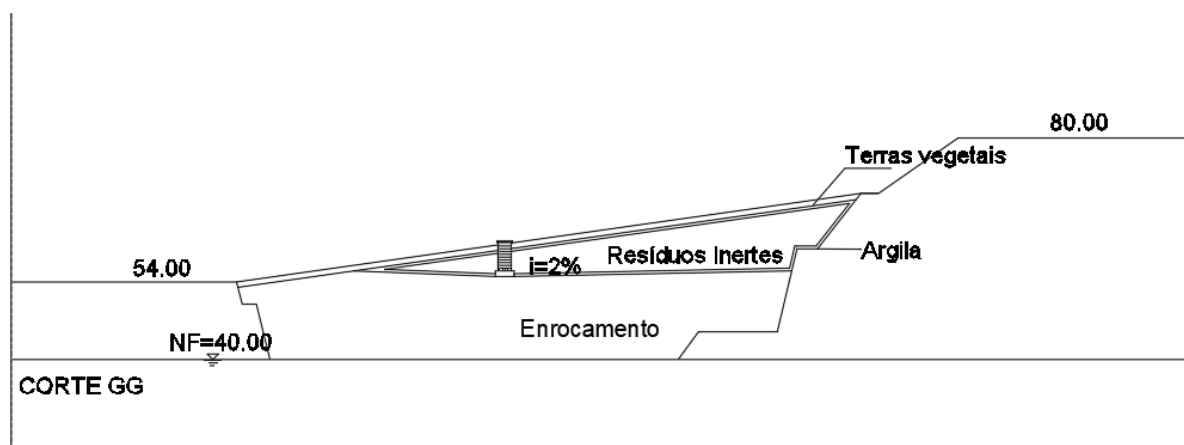


Figura 25 - Corte GG

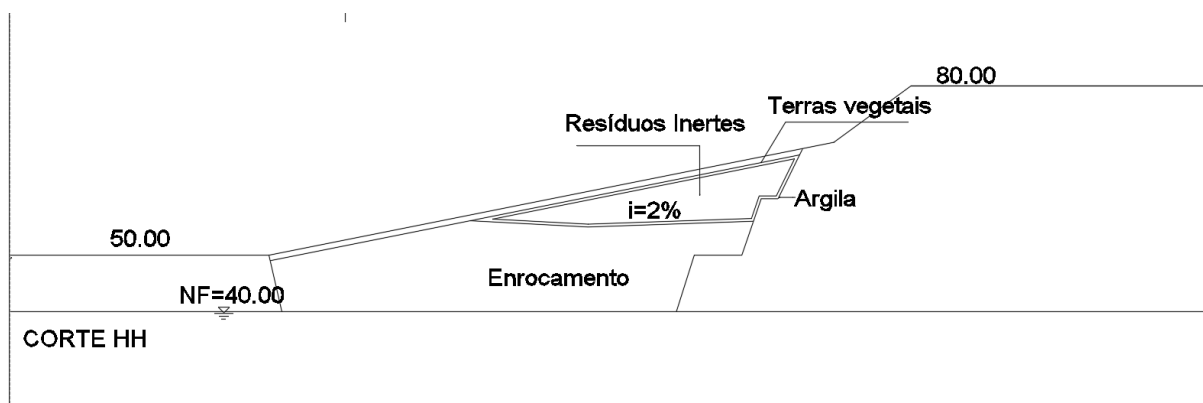


Figura 26 - Corte HH.

## 4.6 Equipamentos, Instalações e Infraestruturas de apoio

O local de implantação do aterro dispõe de vedação, portão e vias de circulação. Sendo necessário realizar a manutenção e conservação destes.

### 4.6.1 Vedação

O perímetro da área em operação deve ser cercado de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas e animais. A vedação prevista no Plano de Lavra para delimitação da exploração deve ser mantida.

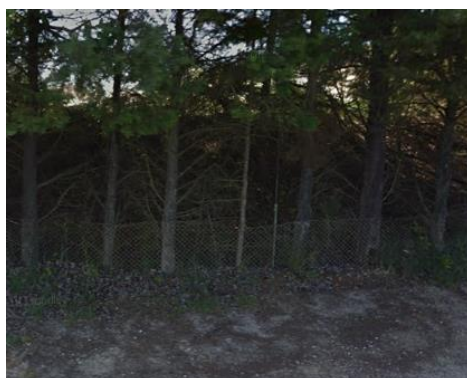


Figura 27 - Vedação da zona da pedreira<sup>11</sup>.

### 4.6.2 Portão



Figura 28 – Entrada da Pedreira.

---

<sup>11</sup><https://www.google.com/maps>. Acesso em: 21/09/2019.

### 4.6.3 Vias de circulação

O acesso ao local far-se-á pelos caminhos utilizados durante a exploração e definidos no Plano de Lavra. Os acessos internos e externos serão protegidos, executados e mantidos de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas. Serão sinalizadas as vias de acesso às zonas de trabalho e área envolvente, bem como em todos os pontos em que tal se mostre necessário para eliminar perigos de acidente.



Figura 29 - Vias de circulação internas existentes na pedreira – sinalizadas a vermelho<sup>12</sup>.

### 4.6.1 Instalações de triagem de resíduos inertes

As instalações de triagem incluem um centro de recepção de resíduos, que será implantado no galpão que atualmente serve de garagem para veículos, portanto prevê-se para este, obras de reforma e adequação, nomeadamente: a impermeabilização do piso, vedação por paredes, reparação da cobertura e instalação de portões e janelas. A maquete digital da proposta para o centro de triagem é apresentada nas Figura 30 e Figura 31. E uma zona de armazenagem, apresentada nas Figura 32 e Figura 33, para os resíduos passíveis de serem valorizados ou que não podem ser depositados no aterro, sendo esta construída de acordo com o disposto no apêndice I.

---

<sup>12</sup><https://www.google.com/maps/place/Portunhos/@40.2925193,-8.5636146,493m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd2254c17a8c3d93:0x500ebbde490a500!8m2!3d40.2968486!4d-8.5441291>. Acesso em: 21/09/2019.

---



Figura 30 - Vista Frontal do Centro de Triagem



Figura 31 - Vista Traseira do Centro de Triagem.



Figura 32 - Zona de armazenagem de resíduos - vista 1.



Figura 33 - Zona de armazenagem de resíduos - vista 2.





## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Sobre o desenvolvimento do trabalho

A área do caso de estudo é bastante ampla, portanto, o desenvolvimento do projeto para toda a zona demandaria muito trabalho, o que não se justifica considerando que o objetivo aqui é verificar se o manual de fato pode ser aplicado a uma situação real. Dessa forma, optou-se por realizar a aplicação da proposta a uma parcela da área total. Esta foi escolhida por apresentar informações das cotas dos taludes, o que facilitava a elaboração do projeto.

Essa área foi seccionada em corte de 20 em 20 metros, com exceção do corte HH que tem a 46 metros. A opção por seccionar a área da corta em estacas, se justifica na facilidade que os cortes proporcionam para o cálculo dos volumes. A corta poderia ter sido seccionada em estacas mais espaçadas, mas por critério de precisão se preferiu por fazê-la dessa forma.

O modelo conceptual foi desenvolvido conforme o disposto no manual de projeto, a estrutura desse documento baseia-se no disposto no “*Environmental Permitting Regulations: Inert Waste Guidance*”, sendo esse adotado como referência por conter aproximadamente os mesmos requisitos contidos no Decreto-Lei n.º 183/2009.

Para a estabilização dos taludes se adotou como método a remoção do material considerado instável, sendo a avaliação da estabilidade baseada no Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos<sup>13</sup>. Escolheu-se esta opção pela facilidade em executar esse método. Há outras técnicas para realizar essa operação, como a instalação de suportes, entretanto para a utilização que se pretende dar a corta a opção adotada se mostra apropriada.

O sistema de impermeabilização do aterro aplicado é um sistema composto de uma camada de solo argiloso compactado e por uma camada de argila naturais, optou-se por esse sistema pois esses materiais em conjunto conferirão à base do aterro a condutividade hidráulica exigida no Decreto-Lei n.º 183/2009. Visto que, as barreiras de argilas naturais são constituídas por solo que apresenta naturalmente alto teor de fração argila e consequentemente, baixo coeficiente de permeabilidade. Deste modo, são considerados solos com potencial para receber o resíduo disposto diretamente sobre eles (Souza 2009; LEME 2013). Outra opção, seria um sistema com barreiras compostas por materiais sintéticos, entretanto, para o local essa não seria apropriada, pois a afixação desse material sintético em paredes irregulares, situação comum em pedreiras, é difícil, sendo pouco prática, sem mencionar o elevado custo desse material.

Para o sistema de drenagem optou-se pelas canaletas devido a sua fácil instalação e eficiência para aplicação em projetos desse tipo. O dimensionamento desse sistema seguiu o disposto no manual, mas por fim se optou por adotar os diâmetros usuais, por simplificação do projeto. Há diversos materiais e métodos disponíveis para executar os sistemas de drenagem. Em aterros de resíduos sólidos urbanos estas são, em geral, feitas por canaletas assentadas em uma base de concreto e descidas d'água nos taludes. Para a proposta esta opção não se justifica, considerando a natureza

---

<sup>13</sup> [gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos\\_M5DS\\_0.pdf](http://gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf). Acesso em: 21/09/2019.

dos resíduos a depositar. Esta, ainda exigiria mão de obra especializada e maior investimento em comparação com a solução recomendada no manual.

O método de execução dos poços de recolha de lixiviados adotado foi o habitualmente utilizado. O critério principal foi a fácil execução e a possibilidade deste se desenvolver conforme o desenvolvimento do enchimento.

Nas instalações de triagem e armazenagem se buscou por aproveitar ao máximo as instalações já disponíveis na pedreira para reduzir custo, por isso o centro de triagem foi instalado no galpão que atualmente exerce a função de garagem. Já a zona de armazenagem foi instalada fora dessa zona, para melhor aproveitamento do espaço disponível.

## 5.2 Limitações e vieses

Aquando da elaboração do manual de projeto buscou-se que este fosse o mais versátil possível, em termos de aplicação, ou seja, que pudesse facilmente ser adequado a uma situação particular. Porém, como adotou-se os requisitos mínimos dispostos na legislação portuguesa para estruturação do índice desse documento e a aplicação ao caso de estudo corresponde a uma pedreira em Portugal não se pode garantir que este documento seja aplicável a outros países. Sendo assim, apesar de este poder ser adaptado para ser usado em outros países, isto não pode ser feito de maneira direta, estando a aplicação deste limitada. A utilização do manual se restringe a estudantes e profissionais da área, dada a natureza técnica do conteúdo.

Em relação a viabilidade econômica, neste trabalho não se realizou o estudo que pudesse responder a essa questão de forma concreta para o local de aplicação, mas pode-se elencar alguns pontos positivos da proposta em termos econômicos para o referido local, como:

- Os custos inerentes as instalações da infraestrutura de apoio serão menores, pois a pedreira já dispõe de galpões, vedação e vias de circulação;
- A nível de movimentação de terras, percebe-se que estas serão menores em comparação a um aterro executado em local não intervencionada, pois não há necessidade relevantes de cortes, sendo o custo dessa operação mais relacionada a execução dos aterros de nivelamento;
- A empresa responsável pela pedreira não realizou a recuperação paisagística do local durante a exploração e não apresenta perspectiva positiva para a conclusão desta. Portanto dar um novo uso e fonte de renda para o local é a opção mais realista e que poderá resolver o problema ambiental que atualmente aflige a zona.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Atualmente, há muitos esforços em relação a introdução de uma cultura de consumo menos predatória, visando a redução na geração de resíduos e menor extração de matérias-primas e estas aqui são reconhecidas como uma mais valia social e ambiental. Entretanto, mudanças de hábitos e padrões de consumo ocorrem paulatinamente, sendo a evolução desses fenômenos extremamente afetadas pelo nível de desenvolvimento dos países.

A eliminação de resíduos em aterros é uma temática bastante delicada e com forte oposição social, assim como é a extração mineral. Essa percepção negativa da sociedade a cerca dessas atividades se justifica nos vários maus exemplos de danos ambientais causados por ambas, ao redor do mundo. De fato, quando mal-executadas e geridas, estas podem acarretar sérios problemas ambientais.

Em toda a cadeia produtiva ocorre a geração de resíduos, é possível reduzir as quantidades eliminadas, mas, por razões econômicas ou por limitações tecnológicas, sempre há uma parte desta que será eliminada em aterros. Além disso, a exploração de matéria-prima é a primeira etapa da cadeia produtiva, sendo esta de extrema importância. Portanto, transformar pedreiras abandonadas em aterros de resíduos inertes é uma técnica que minimiza dois efeitos negativos das atividades industriais sobre o meio ambiente.

O presente trabalho não apresenta a conversão de pedreiras abandonadas em aterros de resíduos como uma solução ideal e única para a gestão desses problemas, aqui esta é tratada como uma solução viável a curto prazo para o fim do ciclo de vida dos resíduos inertes e para a recuperação de pedreiras abandonadas.

Muitos benefícios para ambas as questões resultam da conversão de pedreiras abandonadas em aterros, pois a recuperação das zonas exploradas é um requisito legal e preencher os vazios com o solo tem custo elevado e, portanto, impraticável. Bem como, as áreas degradadas pela atividade extrativa recebem uma nova utilidade. Após a exploração do aterro, a paisagem é recuperada, os riscos de pedreiras abandonadas são minimizados e a área é reintegrada às paisagens adjacentes. Além disso, os resíduos inertes não produzem lixiviados em volume significativo e ocupam um espaço significativo em aterros de resíduos sólidos, que tem custo operacional mais caro do que o dos aterros para resíduos inertes.

Em suma, converter pedreiras abandonadas é uma opção viável a nível técnico e ambientalmente responsável. E se apresenta como uma opção para a solução dos problemas relativos à gestão de resíduos inertes e de recuperação de áreas mineiras degradadas.

Para a continuação futura deste trabalho, prevê-se a elaboração do estudo de viabilidade econômica da proposta. Assim como, a elaboração de modelos digitais em processos inseridos no contexto *Business Intelligence* (BI) e na perspectiva da Indústria 4.0.



## 7 BIBLIOGRAFIA

- Almeida, C., J. J. L. Mendonça, M. R. Jesus, and A.J. Gomes. 2000. “Sistemas Aquíferos de Portugal Continental: Ançã-Cantanhede.” Portugal.
- AlZaghrini, Nadine, F. Jordan Srou, and Issam Srou. 2019. “Using GIS and Optimization to Manage Construction and Demolition Waste: The Case of Abandoned Quarries in Lebanon.” *Waste Management* 95 (July): 139–49. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.011>.
- Bastos, Mário, and Isabel Azevedo e Silva. 2001. “Restauração, Reabilitação E Reconversão Na Recuperação Paisagística De Minas E Pedreiras.” *VISA Consultores, S.A.* Portugal. [http://visaconsultores.com/pdf/ANIET\\_2006\\_MBIS\\_artigo.pdf](http://visaconsultores.com/pdf/ANIET_2006_MBIS_artigo.pdf).
- Calçada, Ilda Oliveira. 2016. “Metodologias Utilizadas No Estudo Do Escoamento Em Aquíferos Cársicos e o Caso Prático Da Captação Do Olho de Mira (Maciço Calcário Estremenho).” UNIVERSIDADE DE LISBOA FACULDADE. <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/23800>.
- Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG. 2016. “Guião De Pedreiras.” Portugal. [www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?tipo=1&id=39875%0A](http://www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?tipo=1&id=39875%0A).
- Duarte, J., Fernanda Rodrigues, and J. Santos Baptista. 2019. “Data Digitalisation in the Mining Industry – a Scoping Review Protocol.” *International Journal of Occupational and Environmental Safety* 3 (1): 64–67. [https://doi.org/10.24840/2184-0954\\_003.001\\_0006](https://doi.org/10.24840/2184-0954_003.001_0006).
- EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA. 2011. *A HERANÇA DAS MINAS ABANDONADAS - O ENQUADRAMENTO E A ACTUAÇÃO EM PORTUGAL*. Edited by SA. Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG; EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro. 1st ed. Portugal. [https://www.edm.pt/wp-content/uploads/2017/03/livro\\_edm.pdf](https://www.edm.pt/wp-content/uploads/2017/03/livro_edm.pdf).
- El-Fadel, Mutasem, Salah Sadek, and Walid Chahine. 2001. “Environmental Management of Quarries as Waste Disposal Facilities.” *Environmental Management* 27 (4): 515–31. <https://doi.org/10.1007/s002670010167>.
- Fiúza, António M. A. 2015. “Impacte Ambiental Mineiro.” Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Guiomar, Nuno Ricardo Gracinhas Nunes. 2005. “Modelo de Análise Espacial Em Sistemas de Informação Geográfica Para Requalificação Biofísica de Explorações Mineiras.” *Dissertação*. Universidade Nova de Lisboa.
- Kagermann, Henning, Wolfgang Wahlster, and Johannes Helbig. 2013. “Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 - Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.” *Federal Ministry of Education and Research*. Alemanha. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966>.
- Kumar, Naveen, and Jyoti Kumar. 2019. “Efficiency 4.0 for Industry 4.0.” *Human Technology* 15 (1): 55–78. <https://doi.org/10.17011/ht/urn.201902201608>.
- LEME, M. A. G. 2013. “Caracterização de Solo Utilizado No Sistema de Barreira Impermeabilizante de Base de Uma Célula Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos.” Universidade Estadual de Campinas.
- Löw, Joel, Lena Abrahamsson, and Jan Johansson. 2019. “Mining 4.0—the Impact of New Technology from a Work Place Perspective.” *Mining, Metallurgy & Exploration* 36 (4): 7. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-00104-9>.
- Marques, Tânia Vanessa Santos. 2018. “Avaliação Do Potencial de Valorização de Pedreiras Para Deposição de Resíduos Sólidos. Estudo Da Zona Sul Da Área Metropolitana de Lisboa.”
- Meira. 1999. “A Adequabilidade Das Pedreiras Para a Instalação De Aterros De Resíduos.”

Portugal.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. 2001. *Decreto-Lei n.º 198-A/2001*. <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/198-a/2001/07/06/p/dre/pt/html>.

Ministério da Economia e da Inovação. 2007. *Decreto-Lei n.º 340/2007*. *Diário Da República*, 1.<sup>a</sup> Série — N.º 197. Portugal. <https://dre.pt/application/conteudo/641403>.

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 2006a. *Decreto-Lei n.º 178/2006*. *Diário Da República*, 1.a Série — N.º 171.

———. 2006b. *Decreto-Lei n.º 178/2006*. *Ário Da República*, 1.a Série — N.º 171 — 5 de Setembro de 2006. <https://dre.pt/application/conteudo/540016>.

———. 2009. *Decreto-Lei n.º 183/2009*. *Diário Da República*, 1.<sup>a</sup> Série — N.º 153 — 10 de Agosto de 2009. <https://dre.pt/application/conteudo/493485>.

Momade Racia, Ismael, and Rodrigo de Lemos Peroni. 2017. “Desenvolvimento de Um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de Transporte Em Mineração.” In *CLME2017/VCEM*, 4–8. Porto: INEGI/FEUP.

Nakayama, Hirofumi, Daisuke Tsuchida, and Takayuki Shimaoka. 2012. “Estimation of Cost Reduction and Increase for the Final Disposal Associated with the Categorization of Inert Waste Landfills in Japan.” *Waste Management and Research* 30 (2): 190–99. <https://doi.org/10.1177/0734242X11425405>.

Nwachukwu, M.A., and M.I. Nwachukwu. 2016. “Model of Secure Landfill Using Abandoned Mine Pit—Technical and Economic Imperatives In Poor Developing Nations.” *The Journal of Solid Waste Technology and Management* 42 (3): 173–83. <https://doi.org/10.5276/jswtm.2016.173>.

Quarry Products Association. 2006. “The Need for Inert Wastes to Restore Aggregate Mineral Workings Position Statement from the Quarry Products Association.” <https://mineralproducts.org/documents/inertfull.pdf>.

Santos, Jaime A. 2008. “Compactação Elementos Teóricos.” Instituto Superior Técnico.

SOMERSET Country Council. 2016. “Waste Topic Paper B - Inert Waste Review.” Reino Unido.

Souza, R. F. C. de. 2009. “Migração de Poluentes Inorgânicos Em Liners Compostos.” *ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS*. Universidade de São Paulo.

Stephen, Waringo Waweru, Bosco Njoroge John, Ochieng Adimo Aggrey, Stephen Waringo Waweru, John Bosco Njoroge, and Aggrey Ochieng Adimo. 2018. “Management Status and Perception of Post Quarried Sites in Ndarugu Kiambu, Kenya.” *African Journal of Environmental Science and Technology* 12 (8): 268–82. <https://doi.org/10.5897/ajest2018.2474>.

Vestena, Leandro Redin, Masato Kobiyama, and Leonardo J.C. Santos. 2002. “Considerações Sobre Gestão Ambiental Em Áreas Cársticas.” *RA'E GA - O Espaço Geografico Em Analise* 6 (6): 81–93.

Viegas, Bruno. 2014. “Estabilidade de Taludes de Aterros Não Controlados de Resíduos.” Universidade Nova de Lisboa. [https://run.unl.pt/bitstream/10362/14414/1/Silva\\_2014.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/14414/1/Silva_2014.pdf).

Wang, Hanxun, Bin Zhang, Xueliang Bai, and Lei Shi. 2018. “A Novel Environmental Restoration Method for an Abandoned Limestone Quarry with a Deep Open Pit and Steep Palisades: A Case Study.” *Royal Society Open Science* 5 (5): 180365. <https://doi.org/10.1098/rsos.180365>.

Yang, Hong, Junqiang Xia, Julian R. Thompson, and Roger J. Flower. 2017. “Urban Construction and Demolition Waste and Landfill Failure in Shenzhen, China.” *Waste Management* 63 (May): 393–96. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.026>.

# APÊNDICE

# **MANUAL DE PROJETO PARA A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE PEDREIRAS EM MACIÇOS CARBONATADOS: CONVERSÃO EM ATERROS DE RESÍDUOS INERTES**

Lisandra Maria Beserra Santana

**Orientador:** Prof. Doutor João dos Santos Baptista  
(Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Coorientador:** Prof. Mestre Joana Alexandra Silva Duarte  
(Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)





## ÍNDICE

1	ESCOPO.....	- 1 -
2	Concepção do projeto.....	- 1 -
2.1	Modelo Conceptual .....	- 1 -
2.2	Bases do projeto geotécnico.....	- 2 -
2.3	Estabilização dos taludes e regularização do terreno .....	- 2 -
2.4	Sistema de Impermeabilização do Aterro.....	- 3 -
2.4.1	Sistema de Proteção Ambiental Passiva.....	- 3 -
2.4.2	Sistema de Selagem Final .....	- 4 -
2.5	Sistemas de Drenagem.....	- 5 -
2.5.1	Drenagem de águas pluviais .....	- 5 -
2.5.2	Poços de drenagem dos lixiviados .....	- 8 -
2.6	Plano de Exploração do Aterro .....	- 8 -
2.6.1	Tipos de resíduos a depositar.....	- 8 -
2.6.2	Área, volume a ocupar e previsão da quantidade total de resíduos a depositar .....	- 8 -
2.6.3	Desenvolvimento e sequenciamento de células. ....	- 9 -
2.7	Processos e critérios de admissão de resíduos no aterro .....	- 9 -
2.8	Equipamentos, Instalações e Infraestruturas de Apoio.....	- 10 -
2.8.1	Instalações de triagem de resíduos inertes.....	- 10 -
2.8.2	Vedação, portão e vias de circulação .....	- 11 -
2.9	Plano de Monitorização .....	- 12 -
2.9.1	Monitorização das águas subterrâneas .....	- 12 -
2.9.2	Controlo de assentamentos .....	- 12 -
3	BIBLIOGRAFIA .....	I



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura AI. 1 - Esquema de queda rochosa. Fonte: (Highland and Bobrowsky 2008).....	3 -
Figura AI. 2 - Esquema de tombamento. Fonte: (Highland and Bobrowsky 2008). ....	3 -
Figura AI. 3 - Configuração final da selagem de aterro para resíduos inertes. Fonte: (Oliveira and Braga 2017).....	4 -
Figura AI. 4 - Canaleta de Concreto <sup>3</sup> . ....	5 -
Figura AI. 5 - Seção tipo da canaleta de drenagem provisória. Diâmetro igual a 300 mm. ....	7 -
Figura AI. 6 - Seção tipo da canaleta de drenagem provisória. Diâmetro igual a 500 mm. ....	7 -
Figura AI. 7 – Manilha perfurada de Concreto .....	8 -
Figura AI. 8 - Contentores identificados para a separação dos resíduos .....	11 -
Figura AI. 9 – Exemplo de vedação .....	12 -

.

## **1 ESCOPO<sup>1</sup>**

Neste manual serão apresentadas sequencialmente as diretrizes de projeto para a conversão de pedreiras em aterros de resíduos inertes, com base em critérios normativos e requisitos técnicos. Faz-se referência apenas a questões relacionadas a elaboração do projeto e às competências de Engenharia, estando excluídos do âmbito deste trabalho tudo aquilo que se refira ao licenciamento e a administração do aterro. Portanto, pretende-se sobretudo que este trabalho auxilie estudantes e projetistas na concepção deste tipo de projetos.

## **2 CONCEPÇÃO DO PROJETO**

### **2.1 Modelo Conceptual<sup>2</sup>**

A primeira etapa na elaboração do projeto envolve a elaboração de um modelo conceptual para o local de implantação do empreendimento, esse documento deve conter todas as informações necessárias à compreensão da zona de implantação do projeto. É preferível optar por uma abordagem faseada com objetivos claros e identificáveis para cada fase da investigação do local que devem ser reavaliados durante e entre as fases de investigação, assim como, adotar uma abordagem de qualidade para todas as atividades de design, construção e operação (UK Environment Agency 2009).

O desenvolvimento do modelo conceptual começa com uma pesquisa de gabinete e quando necessário essa será complementada por uma investigação “in-situ”, estando a escala e a extensão das investigações relacionadas à natureza da proposta, à complexidade e sensibilidade do ambiente geológico e hidrogeológico e à proximidade de potenciais receptores que podem ser afetados.

Esse documento deve descrever adequadamente o local com um entendimento suficiente das condições regionais, de forma a prever os perigos e determinar as medidas necessárias para os gerenciar. As investigações devem incluir:

- Local e as áreas circundantes que serão influenciadas pela atividade;
- Design inicial do programa de monitoramento, incluindo, a instalação de pontos de monitoramento de água subterrânea para permitir a coleta de leituras de fundo/base durante o período máximo praticável de tempo. Devendo levar em consideração as flutuações sazonais nos níveis das águas subterrâneas;
- Uma pesquisa topográfica, que devem incluir todas as posições dos poços extração e outros recursos da zona, como leitos de rios, nascentes, afloramentos e exposições.

Através do modelo conceptual pode-se elaborar relatórios sobre: a localização da instalação e a descrição do local, incluindo as suas características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas que são exigidos para o processo de licenciamento de operações de eliminação de resíduos em aterro.

---

<sup>1</sup> Documento escrito em Português do Brasil.

<sup>2</sup> Um fator importante é a capacidade de reprodução dos dados da pesquisa devendo estes estar em um formato eletrônico que possa ser facilmente usado como parte do processo de design. Sugere-se um arquivo de desenho assistido por computador com a capacidade de produzir um formato de saída que possa ser lido universalmente por outros sistemas (o formato .dxf é o mais comum).

## **2.2 Bases do projeto geotécnico**

As explorações por vezes se executam em profundidades que descem a cotas abaixo do nível freático (N.F.), ocorrendo a formação de lagos artificiais nesses locais. Portanto, quando se pretende utilizar os poços (cortas) de extração de pedreiras abandonadas para depositar resíduos, faz-se necessário realizar obras de infraestrutura que garantam a estabilidade do solo de fundação do aterro e a proteção das águas e do solo. Essas obras podem incluir o aterramento até uma cota acima do N.F, visto que é impraticável depositar resíduos em água, e o reforço da base do aterro, já que o peso próprio do material a ser depositado exercerá uma carga sobre o maciço e/ou o enchimento subjacente, sendo assim requerido que este apresente resistência mecânica que assegure que não ocorrerão acidentes geológicos que comprometam a estabilidade global da estrutura. Nesse seguimento, faz-se referência ao documento Eurocódigo 7 - Projeto geotécnico. Parte 1: Regras gerais, o qual apresenta as diretrizes para o projeto geotécnico.

Com base neste Eurocódigo devem identificar-se eventuais necessidades de obras de aterro e melhoramento ou reforço do terreno. Sendo essa necessidade, ou não, de obras desse tipo condicionada pelas situações preexistentes no local. Por exemplo, poderá haver lugares em que o solo subjacente à corta oferecerá competência geotécnica adequada para suportar as ações inerentes à carga exercida pela massa de resíduos a serem depositados e às devidas ao meio ambiente, não se justificando a realização de obras para o melhoramento ou reforço do terreno. Entretanto, se nesse mesmo local a cota do fundo do poço de extração estiver abaixo do N.F será necessário executar obras de nivelamento do terreno, sendo estas executadas por meio de aterro para assim garantir as condições de proteção ambiental. Consoante à situação da zona do empreendimento, o projetista deve determinar qual dessas opções irá se adequar melhor.

## **2.3 Estabilização dos taludes e regularização do terreno**

Em uma primeira fase deve-se verificar a estabilidade da superfície livre dos taludes das áreas de extração. Através da investigação de campo, pode-se identificar os potenciais riscos geológicos na área de estudo. Em uma pedreira, os potenciais riscos geológicos mais comuns são queda de rochas, encostas instáveis e fluxos de detritos. Sob a condição de chuva forte ou outros fatores predisponentes, as quedas de rocha podem ocorrer facilmente (Wang et al. 2018). Nos taludes considerados instáveis, deve-se proceder à remoção desse material em risco de queda ou deslizamento, o qual será utilizado, conjuntamente, ou não, com outros materiais para a modelação da base. A contenção das paredes do poço de extração em geral é feita pela massa de resíduos, à medida que vai sendo executado o enchimento.

### **Queda rochosa**

As quedas de rochosas são movimentos repentinos para baixo, de rocha ou terra, ou ambas, que se desprendem de taludes íngremes ou de penhascos. O material que desce, geralmente bate nas paredes inferiores do talude num ângulo menor que o ângulo da queda, causando projeções. A massa em queda pode quebrar no impacto, pode iniciar um rolamento em taludes mais íngremes e pode continuar até a cota mais baixa do terreno (Highland and Bobrowsky 2008). A Figura AI. 1 apresenta um esquema de queda de rocha.

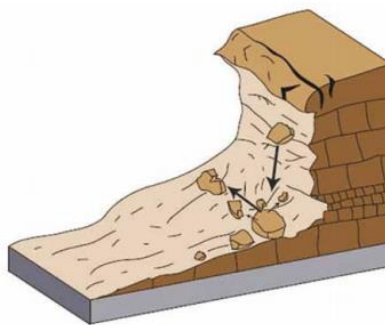


Figura AI. 1- Esquema de queda rochosa. Fonte: (Highland and Bobrowsky 2008).

## **Tombamento**

Um tombamento é identificado por uma rotação frontal de uma massa de solo ou rocha para fora do talude, em torno de um ponto, ou eixo, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. Às vezes, são causados pela gravidade exercida sobre o peso do material na parte superior da massa deslocada. Estes podem conter rochas, detritos (material mais graúdo) ou terra (material de fina granulação). Também podem ser complexos e compostos. Às vezes, o envergamento se deve a água ou gelo nas fissuras da massa (Highland and Bobrowsky 2008). A Figura AI. 2 apresenta um esquema de tombamento de rocha.

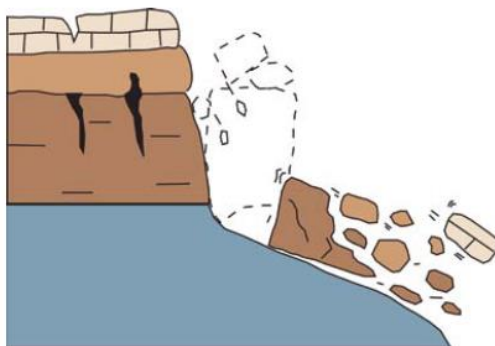


Figura AI. 2 - Esquema de tombamento. Fonte: (Highland and Bobrowsky 2008).

Outras situações de deslizamentos podem ser encontradas no Manual de Deslizamento – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos<sup>3</sup>.

## **2.4 Sistema de Impermeabilização do Aterro**

### **2.4.1 Sistema de Proteção Ambiental Passiva**

Os aterros possuem elementos estruturais como as barreiras impermeáveis de fundo, laterais e de cobertura. As barreiras de fundo e laterais têm a função de impedir a fuga de líquido percolado (lixiviado) para o meio hidrogeológico subjacente. Já as barreiras de coberturas funcionam como

---

<sup>3</sup> [gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos\\_M5DS\\_0.pdf](http://gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf). Acesso em: 21/09/2019.



vedação dos resíduos aterrados, reduzindo a infiltração de águas superficiais e, por sua vez, a geração de líquido percolado. Os revestimentos e camadas impermeabilizantes podem ser construídos com solos argilosos, materiais sintéticos ou, ainda, pela associação destes materiais. Quando se utiliza solo compactado na construção de uma barreira impermeável, é necessário atender a uma série de requisitos no tocante à resistência, à compressibilidade e à permeabilidade (Alonso 2005).

A camada de argila de impermeabilização subjacente ao aterro deve constituir uma barreira de segurança passiva durante a fase de exploração e até à completa estabilização dos resíduos. Deve garantir, tanto quanto possível, a prevenção da poluição dos solos e das águas subterrâneas e de superfície pelos resíduos e lixiviados. A barreira geológica é determinada pelas condições geológicas e hidrogeológicas subjacentes e adjacentes ao local de implantação do aterro, das quais resulte um efeito atenuador suficiente para impedir qualquer potencial risco para o solo de fundação e as águas subterrâneas. Para os aterros de resíduos inertes, a base e os taludes de confinamento do aterro devem consistir numa camada mineral natural que satisfaça as condições de condutividade hidráulica ( $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$  e espessura ( $m \geq 1 \text{ m}$  de efeito combinado, em termos de proteção do solo e das águas subterrâneas e de superfície. Caso a barreira geológica não ofereça naturalmente as condições descritas no ponto anterior, deve ser complementada e reforçada artificialmente por outros meios ou materiais que assegurem uma proteção equivalente. A barreira geológica artificialmente criada não pode ser de espessura inferior a 0,5 m (Decreto-Lei n.º 183/2009).

#### 2.4.2 Sistema de Selagem Final

A decapagem e estoque de terras vegetais é um dos requisitos para o desenvolvimento das atividades extrativas. A remoção da terra vegetal (solo vegetal) processa-se imediatamente a seguir ao desmatamento da área de escavação, tendo por objetivo a preservação da camada orgânica de solo e posterior uso na fase de reintegração paisagísticas (Maria Mira Consultores 2013). O aterro deve possuir uma cobertura final com material terroso de espessura maior ou igual a 1m.

O Decreto-lei 183/2009 não faz referência a camada de barreira hidráulica na selagem do aterro. Entretanto, essa é essencial para restringir a infiltração de águas para o interior do aterro de forma a evitar a produção excessiva de lixiviados. A Figura AI. 3 expõe uma configuração tipo para a selagem de aterros para resíduos inertes.



Figura AI. 3 - Configuração final da selagem de aterro para resíduos inertes. Fonte: (Oliveira and Braga 2017).

## 2.5 Sistemas de Drenagem

Os sistemas de drenagem de águas pluviais e de drenagem e recolha de lixiviados devem ser dimensionados tendo em conta as características do aterro e as condições meteorológicas locais (Ministério do Ambiente 2009). O sistema de drenagem deverá ser projetado para duas fases, aquando da exploração e na fase de encerramento do aterro.

### 2.5.1 Drenagem de águas pluviais

Durante a fase de exploração, deve-se prever um sistema de drenagem de águas pluviais unitário devendo esse ser dimensionado de modo a assegurar o desvio das águas superficiais da área de confinamento do aterro, bem como evitar a ocorrência de fenômenos erosivos nos taludes do aterro. Estes sistemas são, geralmente, construídos com canaletas<sup>4</sup> e descidas d'água nos taludes. Para evitar a erosão dos taludes, é comum o plantio de vegetação rasteira (Alonso 2005). A Figura AI. 4 exibi uma canaleta que usualmente é usada para drenagem em aterro de resíduos inertes.



Figura AI. 4 - Canaleta de Concreto<sup>3</sup>.

## DIMENSIONAMENTO

### *Determinação da intensidade pluviométrica*

Em Portugal, esses dados relativos aos fenômenos extremos de precipitação estão disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)<sup>5</sup>. Em projeto de drenagem de aterros, o período de retorno (T) para fenômenos extremos de precipitação intensa é igual a 100 anos.

---

<sup>4</sup> Valetas

<sup>5</sup> <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1&objCover=920123704&objSite=920685506>. Acesso em: 24/09/2019.

### *Vazão (caudal) contribuinte*

O dimensionamento da rede de drenagem das águas pluviais implica no conhecimento prévio da vazão contribuinte, que pode ser calculada pela Equação 1 (Obladen, Obladen, and Barros 2009).

$$Q = \frac{C * i * A}{3600} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- Q = vazão na seção considerada (l/s);
- C = coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de runoff) que depende das características da bacia contribuinte;
- A = área de bacia contribuinte (m<sup>2</sup>);
- i = intensidade da chuva crítica que varia de local para local (mm/h).

### *Dimensionamento da canaleta*

Conhecida a vazão, as características geométricas do dreno são determinadas através da Equação 2:

$$Q = \frac{R_h^{(\frac{2}{3})} * S * j^{(\frac{1}{2})}}{n} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- Q= vazão na seção considerada (m<sup>3</sup>/s);
- n= coeficiente de rugosidade (adimensional);
- R<sub>h</sub>= raio hidráulico da seção(m);
- S= área da seção transversal ocupada pelo líquido, descontando-se a linha de superfície livre (m<sup>2</sup>);
- j= declividade do fundo canal (m/m).

Tabela AI. 1 - Coeficientes de rugosidade.

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não alisado	0,013
alvenaria de tijolos não revestida	0,015

O raio hidráulico pode ser calculado pela Equação 3<sup>6</sup>:

$$R_h = \frac{S}{P} = \frac{\frac{\pi * D^2}{8}}{\frac{\pi * D}{2}}$$

Equação 3

Onde:

- $R_h$ = raio hidráulico (m);
- $S$  = seção molhada ( $m^2$ );
- $P$ = perímetro molhado (m);
- $D$ = diâmetro (m);

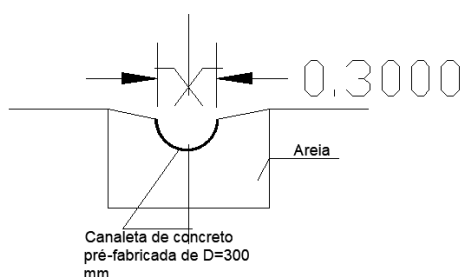


Figura AI. 5 - Seção tipo da canaleta de drenagem provisória. Diâmetro igual a 300 mm.

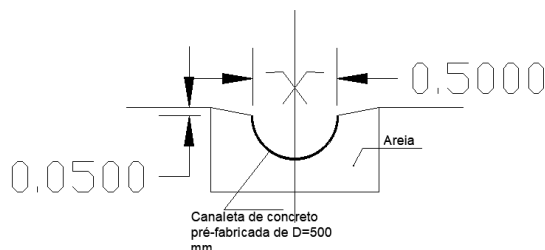


Figura AI. 6 - Seção tipo da canaleta de drenagem provisória. Diâmetro igual a 500 mm.

Na fase de encerramento a drenagem superficial pode ser feita por gravidade, sendo o correto dimensionamento da modelação do terreno fundamental para essa etapa, pois uma inclinação demasiada resultaria em problemas com erosão da cobertura do aterro ou estagnação de água e infiltração indesejada.

<sup>6</sup> [https://www.agro.ufg.br/up/68/o/3.1\\_Condutores\\_livres.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/3.1_Condutores_livres.pdf). Acesso em: 27/09/2019.

## 2.5.2 Poços de drenagem dos lixiviados

O sistema de captação e drenagem de lixiviados permite evitar a acumulação de lixiviados no fundo do aterro e, conseqüentemente, a pressão sobre a camada impermeabilizante, encaminhando-os para o sistema de tratamento (Viegas 2014). O fundo do aterro deverá ter uma inclinação mínima de 2 % em toda a área (Regueiro 2006).

Um método usual de construção de poços recolha dos lixiviados em aterros de resíduos inertes, consiste em fazê-los em manilhas de concreto. Estas serão assentadas em uma camada drenante, normalmente constituída por cascalho, essa camada permitirá tanto a percolação dos líquidos para o poço quanto servirá de fundação deste, de forma a atenuar os eventuais assentamentos que possam ocorrer. Na base, o poço pode ser formado por manilhas perfuradas, como a apresentada na Figura AI. 7, para facilitar a percolação dos líquidos para o interior do poço. As outras zonas podem ser feitas em manilhas maciças, como a apresentada na **Error! Reference source not found.** O diâmetro interno do poço deve ser maior ou igual a 1,20 m. A opção por manilhas é adequada visto que o desenvolvimento do poço é simultâneo ao do aterro.



Figura AI. 7 – Manilha perfurada de Concreto<sup>7</sup>.

## 2.6 Plano de Exploração do Aterro

### 2.6.1 Tipos de resíduos a depositar

O tipo de resíduo aceitos são resíduos classificados como inertes, conforme o disposto na lei vigente que regulamenta a deposição de resíduos em aterro. Atualmente, os resíduos aceitos são os constantes na lista da Tabela 1 no anexo IV do Decreto-Lei n.º 183/2009.

### 2.6.2 Área, volume a ocupar e previsão da quantidade total de resíduos a depositar

A área, o volume e a previsão da quantidade de resíduos total a depositar pode ser calculada através do levantamento topográfico que foi realizado durante a elaboração do modelo conceptual. A partir desse documento, verifica-se as dimensões das cortas e assim é possível calcular o volume disponível para a deposição da massa de resíduos e quantificar o total de resíduos a eliminar. O

<sup>7</sup> <https://www.cesarlealsantos.com/produto-betao/6/aneis-de-betao-simples-ou-armado>. Acesso em: 17/09/2019.

cálculo do volume de resíduos deve considerar o empolamento desse material. O empolamento pode ser calculado pela Equação 4 (Momade Racia and de Lemos Peroni 2017).

$$E = (\lambda - 1) \times 100 \% , \text{ onde } \lambda = \frac{\gamma_c}{\gamma_s} \text{ e } V_s = V_c \times \frac{\gamma_c}{\gamma_s} = \lambda \times V_c , \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- $\lambda$  é o fator de empolamento;
- $\gamma_c$  é o peso específico do material no corte;
- $\gamma_s$  é o peso específico do material empolado ou solto;
- $V_c$  é o volume originalmente no corte ou in-situ;
- $V_s$  é o volume do material rochoso após a fragmentação.

Para resíduos inertes considera-se habitualmente um fator de empolamento de 30%.

### 2.6.3 Desenvolvimento e sequenciamento de células.

O plano de enchimento deve apresentar o esquema de enchimento do aterro, no qual deve constar a superfície máxima a céu aberto em regime de exploração normal, altura de deposição dos resíduos, características dos taludes de proteção e suporte dos resíduos.

## 2.7 Processos e critérios de admissão de resíduos no aterro

Apesar de os processos e critérios de admissão dos resíduos no aterro serem de caráter administrativo percebe-se que é importante fazer referência a esse tópico, visto a sua relevância para o controle dos riscos inerentes às atividades de eliminação de resíduos em aterro. Nos aterros para resíduos inertes só podem ser depositados resíduos inertes que satisfaçam os critérios de admissão estabelecidos por norma, apresentados na Tabela 1. É dever do operador dispor de uma lista dos tipos de resíduos aceitáveis no aterro. O produtor (ou outro detentor) dos resíduos deve fornecer as informações necessárias para permitir que seja tomada uma decisão sobre se os resíduos podem ser aceitos. Essa decisão deve ocorrer antes da chegada de uma carga de resíduos no local. Entretanto, a aprovação da pré-aceitação nem sempre é possível, por exemplo, para cargas pontuais que aparecem no portão. Nos locais em que isso pode ocorrer, os procedimentos devem incluir um mecanismo que permita decidir se é possível aceitar essa carga (UK Environment Agency 2009).

**Requisitos de pré-aceitação:** Todos os resíduos devem ser descritos adequadamente para permitir que o detentor subsequente lide com eles de uma maneira que não cause poluição do meio ambiente. Isso se aplica a todas as transferências de resíduos entre as partes, incluindo as para operadores de locais de disposição. O produtor do resíduo ou, por padrão, a pessoa responsável por seu gerenciamento, é responsável por garantir que as informações de caracterização estão corretas. Isso significa que o produtor deve realizar as verificações necessárias para confirmar que

o resíduo é inerte. Já o receptor deve dispor de procedimentos para avaliar as informações fornecidas pelo produtor para garantir que, quando o resíduo chegar ao seu sítio, ele possa ser aceito. A caracterização básica é o primeiro passo no procedimento de aceitação e constitui uma caracterização completa dos resíduos, reunindo todas as informações necessárias para um descarte seguro dos resíduos a longo prazo. É necessária uma caracterização básica para cada tipo de resíduo. Se as informações não forem fornecidas com antecedência, o receptor deverá tomar a decisão sobre a aceitabilidade de resíduos a curto prazo. Isso pode levar a atrasos na ponte de pesagem ou aceitação/rejeição de resíduos sem a devida consideração. Seus procedimentos devem incluir alguma forma de aprovação de pré-aceitação para reduzir a incidência de resíduos não autorizados que chegam às instalações e minimizar os atrasos no processamento de documentos na ponte de pesagem. Onde os resíduos de um produtor forem recusados, deve-se informar o motivo e fazer um registro disso. Onde os resíduos de um determinado produtor estão sendo repetidamente recusados, pode ser necessário aconselhá-lo a procurar uma rota alternativa para o descarte.

***Recomendações para caracterização de resíduos:*** o produtor deve descrever as características dos resíduos e identificar os riscos potenciais para o meio ambiente. Para os resíduos a serem depositados em aterros de resíduos inertes, o produtor deverá ainda:

- confirmar que não é perigoso e que é inerte;
- identificar que o resíduo é apropriado para um aterro para resíduos inertes;
- identificar se método de tratamento é apropriado;
- identificar as principais características químicas para permitir que o operador realize testes de verificação no local.

## **2.8 Equipamentos, Instalações e Infraestruturas de Apoio**

Os aterros devem dispor de equipamentos, instalações e infraestrutura de apoio que suportem as suas operações (Decreto-Lei n.º 46/2008) <sup>8</sup>.

### **2.8.1 Instalações de triagem de resíduos inertes**

Os aterros devem dispor de uma área em que os resíduos recebidos passem pelo processo de triagem antes de serem deposição no aterro. Os requisitos mínimos para essas instalações são:

1. Vedação que impeça o livre acesso à instalação;
2. Sistema de controlo de admissão de resíduos;
3. Sistema de pesagem com báscula para quantificar os resíduos;
4. Sistema de combate a incêndios.
5. Zona de armazenagem com cobertura e piso impermeabilizados, dotada de sistema de recolha e encaminhamento para destino adequado de águas pluviais, águas de limpeza e de

---

<sup>8</sup> O Decreto-lei n.º 46/2008 de 12 de março, trata de aterros de resíduos de construção e demolição (RCD), sendo esses resíduos inertes. Admite-se aqui por analogia que os mesmos critérios se adequam a proposta, visto que a lista de resíduos inertes contempla mais resíduos que apenas os RCD.



derramamentos e, quando apropriado, dotado de decantadores e separadores de óleos e gorduras.

6. Zona de triagem coberta, protegida contra intempéries, com piso impermeabilizado, dotada de sistema de recolha e encaminhamento dos efluentes para destino adequado de águas pluviais, águas de limpeza e de derramamentos, e, quando apropriado, dotado de decantadores e separadores de óleos e gorduras. Esta zona deverá estar equipada com contentores adequados e devidamente identificados para o armazenamento seletivo de resíduos perigosos, incluindo resíduos de alcatrão e de produtos de alcatrão, e para papel/cartão, madeiras, metais, plásticos, vidro, cerâmicas, resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, embalagens, concreto, alvenaria, materiais betuminosos e de outros materiais destinados a reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização.



Figura AI. 8 - Contentores identificados para a separação dos resíduos<sup>9</sup>.

### 2.8.2 Vedação, portão e vias de circulação

O exercício da atividade de exploração exige condições de segurança, como a vedação da área da pedreira, portão de acesso e vias de circulação. Portanto, toda essa infraestrutura já implantada no local será utilizada durante a exploração do aterro.

No que se referi aos acessos destinados às tarefas de deposição deve-se utilizar os mesmos que forem utilizados nas atividades de extração. Os acessos projetados servem de forma competente as atividades de deposição. Os acessos específicos a cada frente de trabalho serão definidos em função do avanço do aterro. Relativamente aos acessos finais, a serem utilizados na fase pós-exploração, podem ser utilizadas as vias principais que servem a pedreira e os que se encontram projetados no PARP (Maria Mira Consultores 2013).

---

<sup>9</sup>[https://www.researchgate.net/publication/292616130\\_Diagnostico\\_do\\_gerenciamento\\_de\\_residuos\\_da\\_construcao\\_civil\\_em\\_obras\\_no\\_municipio\\_de\\_Jaboticabal\\_-\\_SP](https://www.researchgate.net/publication/292616130_Diagnostico_do_gerenciamento_de_residuos_da_construcao_civil_em_obras_no_municipio_de_Jaboticabal_-_SP). Acesso em: 17/09/2019.



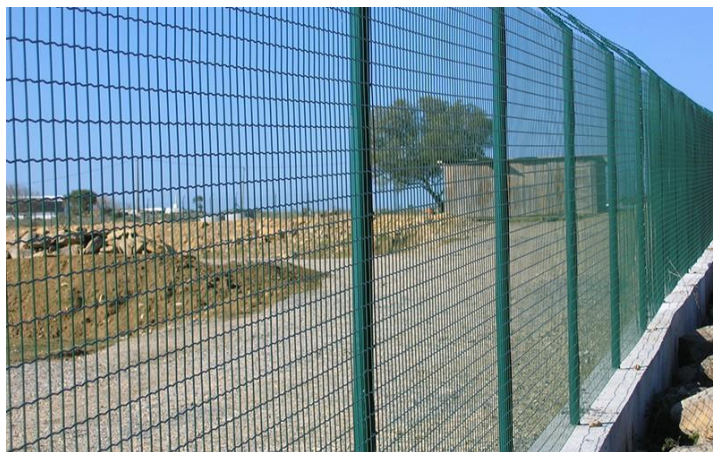


Figura AI. 9 – Exemplo de vedação <sup>10</sup>.

## 2.9 Plano de Monitorização

O plano de monitorização, inclui os parâmetros a determinar e a frequência, os locais e os métodos de amostragem. Os requisitos para o plano de monitorização tanto para a fase de exploração quanto para o pós-encerramento estão disponíveis no Decreto-Lei n.º 183/2009.

### 2.9.1 Monitorização das águas subterrâneas

Os piezómetros fornecem acesso controlado para amostragem de águas subterrâneas perto de um aterro, para detectar infiltrações e monitorar a qualidade das águas subterrâneas devido à migração de lixiviados. Quando adequadamente projetados e bem colocados também garantirão que as amostras de águas subterrâneas obtidas são representativas das águas subterrâneas abaixo do local. O número de furos pode variar, dependendo do tamanho do aterro. Esses devem estar localizados na direção do fluxo das águas subterrâneas. Um furo de registro deve ficar entre o aterro e a área residencial mais próxima onde estão localizados os poços de água. A profundidade dos furos deve ser o maior possível em fundura rasa abaixo da superfície da água (Nwachukwu and Nwachukwu 2016).

### 2.9.2 Controlo de assentamentos

O operador deve controlar anualmente, tanto durante a fase de exploração quanto no pós – encerramento, os potenciais assentamentos do terreno e da massa de resíduos depositada por levantamento topográfico, de forma a tornar possível a comparação e a sobreposição dos resultados obtidos com os resultados anteriores (Decreto-Lei n.º 183/2009)

---

<sup>10</sup> <https://www.vedicerca.pt/#>. Acesso em: 17/09/2019.

### 3 BIBLIOGRAFIA

- Alonso, Thiago De Paula. 2005. “Condutividade Hidráulica de Solos Compactados em Ensaios com Permeâmetro de Parede Flexível.” Universidade de São Paulo.
- Highland, Lynn M., and Peter Bobrowsky. 2008. “O Manual de Deslizamento - Um Guia Para a Compreensão de Deslizamentos.” *US Geological Survey Circular*. Vol. 1325. Canada. [https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos\\_M5DS\\_0.pdf](https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf).
- Maria Mira Consultores. 2013. “Plano de Pedreira - Pedreira ‘Portela Das Salgueiras’ Alcobertas – Rio Maior – Santarém.” Portugal. [http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2894/pp\\_portela-das-salgueiras201661511560.pdf](http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2894/pp_portela-das-salgueiras201661511560.pdf).
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 2008. *Decreto-Lei n.º 46/2008. Diário Da República, 1.ª Série — N.º 51*. Vol. 51. Portugal.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 2009. *Decreto-Lei n.º 183/2009. Diário Da República, 1.ª Série — N.º 153 — 10 de Agosto de 2009*. <https://dre.pt/application/conteudo/493485>.
- Momade Racia, Ismael, and Rodrigo de Lemos Peroni. 2017. “Desenvolvimento de Um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de Transporte Em Mineração.” In *CLME2017/VCEM*, 4–8. Porto: INEGI/FEUP.
- Nwachukwu, M.A., and M.I. Nwachukwu. 2016. “Model of Secure Landfill Using Abandoned Mine Pit—Technical and Economic Imperatives In Poor Developing Nations.” *The Journal of Solid Waste Technology and Management* 42 (3): 173–83. <https://doi.org/10.5276/jswtm.2016.173>.
- Obladen, Nicolau Leopoldo, Neiva Terezinha Ronsani Obladen, and Kelly Ronsani de Barros. 2009. “Guia Para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários Para Resíduos Sólidos Urbanos.” *Série de Publicações Temáticas Do CREA-PR*. Vol. 2. Paraná - Brasil.
- Oliveira, Rafael Freitas de, and Risete Maria Queiroz Leão Braga. 2017. “Sistema De Cobertura Final De Um Aterro Sanitário Para a Rmb De Belém-Pa Com Emprego De Resíduos Da Construção Civil.” *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 2017. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v6e32017573-596>.
- Regueiro, Edite do Carmo Guerra. 2006. “Avaliação Da Influência de Diferentes Configurações Das Camadas Dos Aterros Na Formação de Lixiviados.” Universidade Fernando Pessoa.
- UK Environment Agency. 2009. “Environmental Permitting Regulations : Inert Waste Guidance - Standards and Measures for the Deposit of Inert Waste on Land.” Reino Unido. [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk).
- Viegas, Bruno. 2014. “Estabilidade de Taludes de Aterros Não Controlados de Resíduos.” Universidade Nova de Lisboa. [https://run.unl.pt/bitstream/10362/14414/1/Silva\\_2014.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/14414/1/Silva_2014.pdf).
- Wang, Hanxun, Bin Zhang, Xueliang Bai, and Lei Shi. 2018. “A Novel Environmental Restoration Method for an Abandoned Limestone Quarry with a Deep Open Pit and Steep Palisades: A Case Study.” *Royal Society Open Science* 5 (5): 180365. <https://doi.org/10.1098/rsos.180365>.

# ANEXO

